



LABORATORIUM VOOR TOEGEPASTE GEOLOGIE EN HYDROGEOLOGIE

---

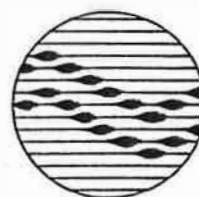
STUDIE VAN DE  
GRONDWATERWINNINGSMOGELIJKHEDEN  
VOOR DE STAD OUDENAARDE

DEEL 2

TGO 89/71

STUDIE VAN DE  
GRONDWATERWINNINGSMOGELIJKHEDEN  
VOOR DE  
STAD OUDENAARDE

deel 2



geologisch instituut S8  
krijgslaan 281  
B-9000 gent

telefoon 091-22.57.15

STAD OUDENAARDE

leiding: Prof.Dr.W.DE BREUCK

studie en verslag: Lic.M.VAN CAMP

Dr. L.LEBBE

Lic.M.MAHAUDEN

Dossiernummer: TGO 89/71

Datum: oktober 1990



## INHOUD

Lijst der figuren

Lijst der tabellen

|   |    |
|---|----|
| 1. Inleiding  |    |
| 2. Grondwaterkwaliteit  | 2  |
| 3. Stromingsmodel   | 4  |
| 3.1. Ligging en begrenzing van het modelgebied  | 4  |
| 3.2. Aangewend mathematisch model   | 4  |
| 3.3. Schematisering van het grondwaterreservoir   | 11 |
| 3.4. Ingevoerde gegevens  | 13 |
| 3.4.1. Hydraulische parameters  | 13 |
| 3.4.1.1. Horizontale doorlatendheden  | 13 |
| 3.4.1.2. Vertikale doorlatendheden  | 13 |
| 3.4.2. Grensvoorwaarden   | 18 |
| 3.4.3. Infiltratie  | 20 |
| 3.4.4. Pumpingen  | 20 |
| 3.4.5. Waterlopen   | 22 |
| 3.4.6. Referentievlak   | 22 |
| 3.5. IJking van het model   | 26 |
| 3.6. Resultaten   | 26 |
| 3.6.1. Inleiding  | 26 |
| 3.6.2. Toestand zonder winning  | 27 |
| 3.6.3. Toestand met winning van 4500 m <sup>3</sup> /d volgens de eerste puttenkonfiguratie | 30 |
| 3.6.4. Toestand met winning van 4000 m <sup>3</sup> /d volgens de eerste puttenkonfiguratie | 35 |
| 3.6.5. Toestand met winning van 3500 m <sup>3</sup> /d volgens de eerste puttenkonfiguratie | 35 |
| 3.6.6. Toestand met winning van 3000 m <sup>3</sup> /d volgens de tweede puttenkonfiguratie | 35 |
| 3.6.7. Toestand met winning van 2000 m <sup>3</sup> /d volgens de derde puttenkonfiguratie  | 46 |
| 3.6.8. Toestand met winning van 3000 m <sup>3</sup> /d volgens de derde puttenkonfiguratie  | 46 |

|   |    |
|---|----|
| 4. Kwaliteitsmodel  | 57 |
| 4.1. Ligging van de modeldoorsnede  | 57 |
| 4.2. Aangewend mathematisch model   | 57 |
| 4.3. Ingevoerde gegevens  | 61 |
| 4.4. Resultaten   | 63 |
| 4.4.1. Toestand met een winningsdebiet van 4500 m <sup>3</sup> /d                     | 65 |
| 4.4.2. Toestand met een winningsdebiet van 3500 m <sup>3</sup> /d                     | 65 |
| 5. Intrek van Scheldewater bij de winning volgens de derde winningsputtenkonfiguratie | 75 |
| 5.1. Inleiding  | 75 |
| 5.2. Resultaten   | 75 |
| 5.2.1. Winningsdebiet 3000 m <sup>3</sup> /d  | 75 |
| 5.2.2. Winningsdebiet 2000 m <sup>3</sup> /d  | 76 |
| 5.3. Bespreking   | 76 |
| 6. Beschermingszones  | 77 |
| 6.1. Inleiding  | 77 |
| 6.2. Bespreking   | 77 |
| BESLUIT   | 83 |
| REFERENTIES   | 86 |

## LIJST DER FIGUREN

- Fig. 1. Ligging van het modelgebied
- Fig. 2. Eindig-verschil netwerk
- Fig. 3. Situering van een eindig-verschil cel (I,J,K) met in het middelpunt het nodale punt (I,J,K) waar de stijghoogte van de cel F (I,J,K) aangegeven wordt.
- Fig. 4. Hydrogeologische schematisering van het grondwater-reservoir in het mathematisch model
- Fig. 5. Ingevoerde horizontale doorlatendheid in laag 1
- Fig. 6. Ingevoerde horizontale doorlatendheid in laag 2
- Fig. 7. Ingevoerde hydraulische weerstand van de laag KL
- Fig. 8. Ingevoerde randvoorwaarden
- Fig. 9. Ingevoerde nuttige neerslag in het modelgebied
- Fig. 10. Ligging van de pompputten - eerste configuratie
- Fig. 11. Ligging van de pompputten - derde configuratie
- Fig. 12. Ingevoerde waterlopen in het model
- Fig. 13. Ligging van de verticale doorsnede
- Fig. 14. Ingevoerde doorlatendheden in m/d in het vertikaal model
- Fig. 15. Ingevoerde randvoorwaarden in het vertikaal model
- 
- PLAAT 1. Toestand zonder winning (laag 1)
- PLAAT 2. Toestand zonder winning (watertafel)
- PLAAT 3. Toestand met winning van 4.500 m<sup>3</sup>/d (laag 1)
- PLAAT 4. Toestand met winning van 4.500 m<sup>3</sup>/d (watertafel)
- PLAAT 5. Verlaging in laag 1 bij winning van 4500 m<sup>3</sup>/d (laag 1)
- PLAAT 6. Verlaging watertafel bij winning van 4500 m<sup>3</sup>/d (watertafel)
- PLAAT 7. Toestand bij winning van 4000 m<sup>3</sup>/d (laag 1)
- PLAAT 8. Toestand bij winning van 4000 m<sup>3</sup>/d (watertafel)
- PLAAT 9. Verlaging in laag 1 bij winning van 4000 m<sup>3</sup>/d (laag 1)
- PLAAT 10. Verlaging watertafel bij winning van 4000 m<sup>3</sup>/d (watertafel)

- PLAAT 11. Toestand bij winning van 3500 m<sup>3</sup>/d (laag 1)
- PLAAT 12. Toestand bij winning van 3500 m<sup>3</sup>/d (watertafel)
- PLAAT 13. Verlaging in laag 1 bij winning van 3500 m<sup>3</sup>/d (laag 1)
- PLAAT 14. Verlaging watertafel bij winning van 3500 m<sup>3</sup>/d (watertafel)
- PLAAT 15. Berekende stijghoogte in laag 1 bij winning van 3000 m<sup>3</sup>/d volgens de tweede puttenkonfiguratie
- PLAAT 16. Berekende stijghoogte in laag 2 bij winning van 3000 m<sup>3</sup>/d volgens de tweede puttenkonfiguratie
- PLAAT 17. Verlaging in laag 1 bij winning van 3000 m<sup>3</sup>/d volgens de tweede puttenkonfiguratie
- PLAAT 18. Verlaging van de watertafel bij winning van 3000 m<sup>3</sup>/d volgens de tweede puttenkonfiguratie
- PLAAT 19. Berekende stijghoogte in laag 1 bij winning van 2000 m<sup>3</sup>/d volgens de derde puttenkonfiguratie
- PLAAT 20. Berekende stijghoogte in laag 2 bij winning van 2000 m<sup>3</sup>/d volgens de derde puttenkonfiguratie
- PLAAT 21. Verlaging in laag 1 bij winning van 2000 m<sup>3</sup>/d volgens de derde puttenkonfiguratie
- PLAAT 22. Verlaging van de watertafel bij winning van 2000 m<sup>3</sup>/d volgens de derde puttenkonfiguratie
- PLAAT 23. Berekende stijghoogte in laag 1 bij winning van 3000 m<sup>3</sup>/d volgens de derde puttenkonfiguratie
- PLAAT 24. Berekende stijghoogte in laag 2 bij winning van 3000 m<sup>3</sup>/d volgens de derde puttenkonfiguratie
- PLAAT 25. Verlaging in laag 1 bij winning van 3000 m<sup>3</sup>/d volgens de derde puttenkonfiguratie
- PLAAT 26. Verlaging van de watertafel bij winning van 3000 m<sup>3</sup>/d volgens de derde puttenkonfiguratie
- PLAAT 27. Simulatie van de uitstroming vanuit de Schelde bij 4500 m<sup>3</sup>/d
- PLAAT 28. Simulatie van de uitstroming vanuit de oude Scheldearm bij 4500 m<sup>3</sup>/d
- PLAAT 29. Simulatie van de uitstroming vanuit de Schelde bij 3500 m<sup>3</sup>/d

PLAAT 30. Simulatie van de uitstroming vanuit de oude Scheldearm bij 3500 m<sup>3</sup>/d

PLAAT 31. Stromingsvectoren bij winning van 3000 m<sup>3</sup>/d

PLAAT 32. Stromingsvectoren bij winning van 2000 m<sup>3</sup>/d

Fig. 16. Beschermingszone type III bij winning van 3.000 en 2.000 m<sup>3</sup>/d volgens de derde winningsputtenkonfiguratie

#### LIJST DER TABELLEN

Tabel 1. Analyseresultaten van de grondwaterstalen uit putten SB9 en SB2 op het golfterrein

## 1. INLEIDING

Op 1 februari 1990 gaf het stadsbestuur van Oudenaarde aan het Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie van de Rijksuniversiteit Gent (LTGH) de opdracht tot het uitvoeren van een "Studie van de grondwaterwinningsmogelijkheden voor de stad Oudenaarde". De studie duurt in totaal zes maanden.

Onderhavig tweede studierapport bevat het verslag van de werkzaamheden vanaf mei 1990. Het omvat de resultaten van :

- de uitgebreide grondwateranalyses van twee putten gelegen op het golfterrein;
- een mathematisch model dat voor het studiegebied werd opgesteld. Er werden twee verschillende modellen toegepast :
  - het eerste is een kwasi-driedimensioneel stromingsmodel dat toelaat de te verwachten grondwaterpeilverlagingen te voorspellen. Het berekent de stromingen in en tussen de verschillende watervoerende lagen. Hiermee kan een beeld worden verkregen van het stromingspatroon van het grondwater naar de waterwinning en van de tijd die het grondwater nodig heeft om de waterwinning te bereiken.
  - het tweede is een tweedimensioneel kwaliteitsmodel dat toelaat volgens een verticale doorsnede de verandering van de grondwaterkwaliteiten met de tijd te berekenen. Dit model werd toegepast om de mogelijke beïnvloeding van de grondwaterwinning, door uitstroming vanuit de Schelde of de oude Scheldearm, te onderzoeken.

## 2. GRONDWATERKWALITEIT

In tabel 3.5. (eerste rapport LTGH) werden de analyseresultaten van grondwaters uit de omgeving van het studiegebied aangegeven. Het betrof resultaten op een beperkt aantal parameters.

Op 07 juni 1990 werden door het Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie op het golfterrein twee grondwaterstalen genomen op de putten SB9 en SB2 (zie fig. 5 eerste rapport); de stalen werden door de Provinciale Dienst voor de Bescherming van het Leefmilieu en het Laboratorium Vanneste op een uitgebreid aantal parameters onderzocht. De resultaten van deze analyses zijn in tabel 1 voorgesteld.

De resultaten bevestigen dat de normwaarde voor ijzer en mangaan zijn overschreden. Tevens blijken ook de waarden voor kalium en totaal fosfaat te hoog. Verder geven de analyses uitgevoerd door de Provinciale Dienst voor de bescherming van het Leefmilieu lage waarden voor ammonium waar wel een overschrijding van het Kjeldahlstikstofgehalte (organische stikstof) ? Een van beide stalen vertoont ook een iets te hoge oxydeerbaarheid.

De te hoge waarden kunnen worden toegeschreven :

- voor de parameters ijzer en mangaan aan de natuurlijke grondwaterkwaliteit;
- voor de parameters kalium, fosfaat en ammonium (analyse LTGH) aan antropogene invloeden (bemesting).

Tabel 1. Analyseresultaten van de grondwaterstalen uit putten SB9 en SB2 op het golfterrein

| parameter        |                                    | SB9      | SB2      | Norm (1)       |
|------------------|------------------------------------|----------|----------|----------------|
| pH               |                                    | 7,3      | 6,8      | 6,5 ≤ pH ≤ 9,2 |
| temperatuur      | °C                                 | 11,8     | 12,6     | 25             |
| geleidbaarheid   | µs/cm                              | 552      | 919      | 2100           |
| chloriden        | mg/l                               | 56       | 72       | 350            |
| sulfaten         | mg/l                               | 6        | 5        | 250            |
| totale hardheid  | °F                                 | 29,6     | 42,4     | 67,5           |
| droogrest        | mg/l                               | 390      | 630      | 1500           |
| nitraat          | mg/l                               | < 0,05   | 1,2      | 50             |
| nitriet          | mg/l                               | < 0,005  | 0,036    | 0,1            |
| ammonium         | mg/l                               | < 0,02   | < 0,02   | 0,5            |
| Kjeldahlstikstof | mg/l                               | 2,3      | 6,0      | 1              |
| Oxydeerbaarheid  | mgO <sub>2</sub> /l                | 5,4      | 3,5      | 5              |
| fenolgetal       | mg/l                               | < 0,01   | < 0,01   | 0,5            |
| detergenten      | mg/l                               | 0,1      | 0,14     | 0,2            |
| ijzer            | mg/l                               | 5,4      | 2,1      | 0,2            |
| mangaan          | mg/l                               | 0,21     | 0,51     | 0,05           |
| koper            | mg/l                               | < 0,02   | < 0,02   | 1              |
| zink             | mg/l                               | < 0,01   | < 0,01   | 5              |
| zilver           | mg/l                               | < 0,01   | < 0,01   | 0,01           |
| arsenicum        | mg/l                               | < 0,005  | < 0,005  | 0,05           |
| cadmium          | mg/l                               | < 0,001  | < 0,001  | 0,005          |
| chromium         | mg/l                               | < 0,05   | < 0,05   | 0,05           |
| kwik             | mg/l                               | < 0,001  | < 0,001  | 0,001          |
| nikkel           | mg/l                               | < 0,05   | < 0,05   | 0,05           |
| lood             | mg/l                               | < 0,005  | < 0,005  | 0,05           |
| selenium         | mg/l                               | < 0,005  | < 0,005  | 0,01           |
| calcium          | mg/l                               | 95       | 120      | 270            |
| magnesium        | mg/l                               | 15       | 20       | 50             |
| natrium          | mg/l                               | 18       | 44       | 150            |
| kalium           | mg/l                               | 36       | 119      | 12             |
| totaal fosfaat   | mgP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /l | 9,6      | 16       | 5              |
| fluoride         | mg/l                               | 0,25     | 0,24     | 1,5            |
| totale cyanide   | mg/l                               | < 0,005  | < 0,005  | 0,01           |
| gechloreerde KWS |                                    | negatief | negatief |                |
| pesticiden       |                                    | negatief | negatief |                |

(1) Maximaal toelaatbare concentratie volgens bijlage 1 van het Besluit van de Vlaamse Executieve dd. 15 maart 1989 houdende vaststelling van een technische reglementering inzake drinkwater.



### 3. STROMINGSMODEL

#### 3.1. Ligging en begrenzing van het modelgebied

Het modelgebied is gelegen in de Scheldevallei stroomopwaarts van Oudenaarde, rondom het kasteel van Wortegem-Petegem en het golfterrein tussen de huidige Schelde en de oude Schelde-arm. Het omvat een rechthoekig gebied van 4 op 3.5 km. Het gebied is aangegeven op fig. 1.

De randen van het modelgebied werden gekozen volgens hydro-geologische grenzen in de watervoerende laag KZ (zie 3.3.).

De westgrens volgt een stroomlijn in de laag KZ.

De noordgrens ligt in het westen nabij de voet van het talud van de heuvels in het noorden van het gebied.

De oostgrens volgt zowel ten noorden als ten zuiden van de Schelde een stroomlijn.

De zuidgrens volgt de hoogtelijn van 12.5 m en valt ongeveer samen met de rand van de boreale Scheldevallei.

#### 3.2. Aangewend mathematisch model

Een mathematisch model bestaat enerzijds uit een berekeningsprogramma en anderzijds uit een hoeveelheid gegevens, die in het berekeningsprogramma worden ingevoerd.

Steunend op de wet van Darcy en het continuïteitsprincipe, kan men de differentiaalvergelijking opstellen die de grondwaterstroming in het reservoir beschrijft. Deze differentiaalvergelijking kan slechts voor een klein aantal zeer eenvoudige gevallen exakt analytisch worden opgelost. Het is eerder aangewezen de differentiaalvergelijking benaderend op




 golfterrein

Fig.1 - Ligging van het modelgebied

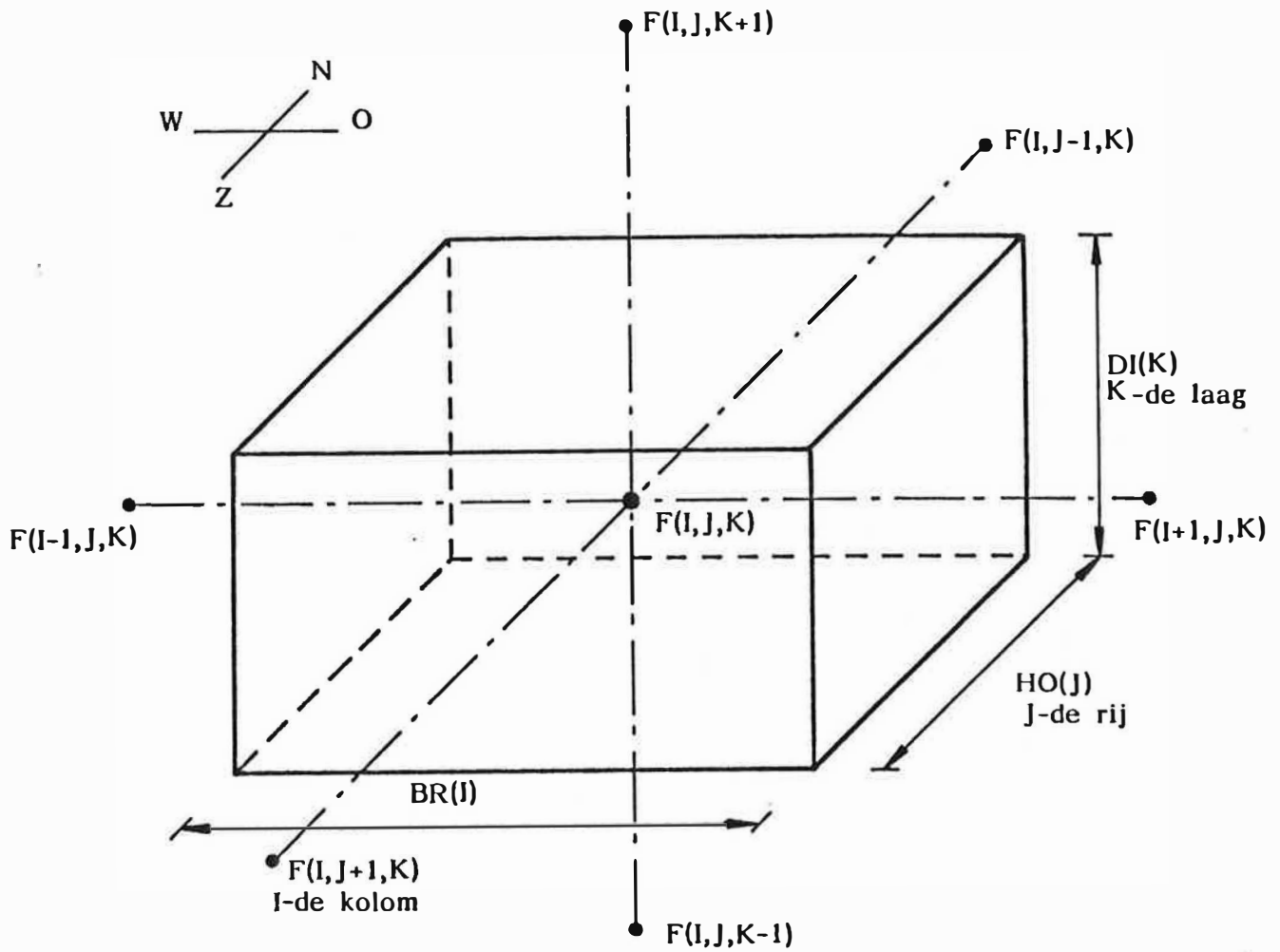
te lossen met een numerieke methode. Hiertoe kan men gebruik maken van een mathematisch model steunend op de eindigverschil methode ("finite difference").

Door het mathematisch model wordt de stijghoogte slechts voor een eindig aantal punten in het reservoir berekend. De differentiaalvergelijking die de grondwaterstroming in het reservoir beschrijft, wordt omgezet in een eindigverschilvergelijking, die iteratief wordt opgelost. Iteratief wil zeggen dat bij het begin van het rekenproces aan elk punt een initiële waarde voor de stijghoogte toegekend wordt en dat daarna de eindig-verschilvergelijking herhaaldelijk wordt opgelost volgens een bepaald algoritme. Na elke cyclus van berekeningen is bij konvergentie de bekomen stijghoogte iets dichterbij de oplossing van de differentiaalvergelijking gekomen. De berekeningen worden onderbroken van zodra het verschil tussen twee opeenvolgende berekende stijghoogten niet groter is dan een vooraf bepaalde afwijking.

Bij de eindig-verschilmethode wordt het grondwaterreservoir in een eindig aantal kubusjes of cellen ingedeeld (fig. 2). Deze komen voor in kolommen, rijen en lagen.

Om de oriëntatie van het grondwaterreservoir ondubbelzinnig vast te stellen, gebruikt men de richtingen "noord", "zuid", "west" en "oost". De nummering gebeurt voor de kolommen van west naar oost, voor de rijen van noord naar zuid, en voor de lagen van onder naar boven. De middelpunten van de cellen heten nodale punten. Het nodale punt van de cel gevormd door de kolom I, de rij J en de laag K geven we de koördinaat (I, J, K) (fig. 3).

Men veronderstelt dat in het mathematisch model de hydraulische parameters in iedere cel konstant zijn. Zo bijvoorbeeld wordt de hydraulische stijghoogte in een cel als konstant verondersteld.



$1 \leq I \leq DIMH$   
 $1 \leq J \leq DIMV$   
 $1 \leq K \leq DIMZ$

Fig. 3 - Situering van een eindig-verschil cel  $(I,J,K)$  met in het middelpunt het nodale punt  $(I,J,K)$  waar de stijghoogte van de cel  $F(I,J,K)$  aangegeven wordt

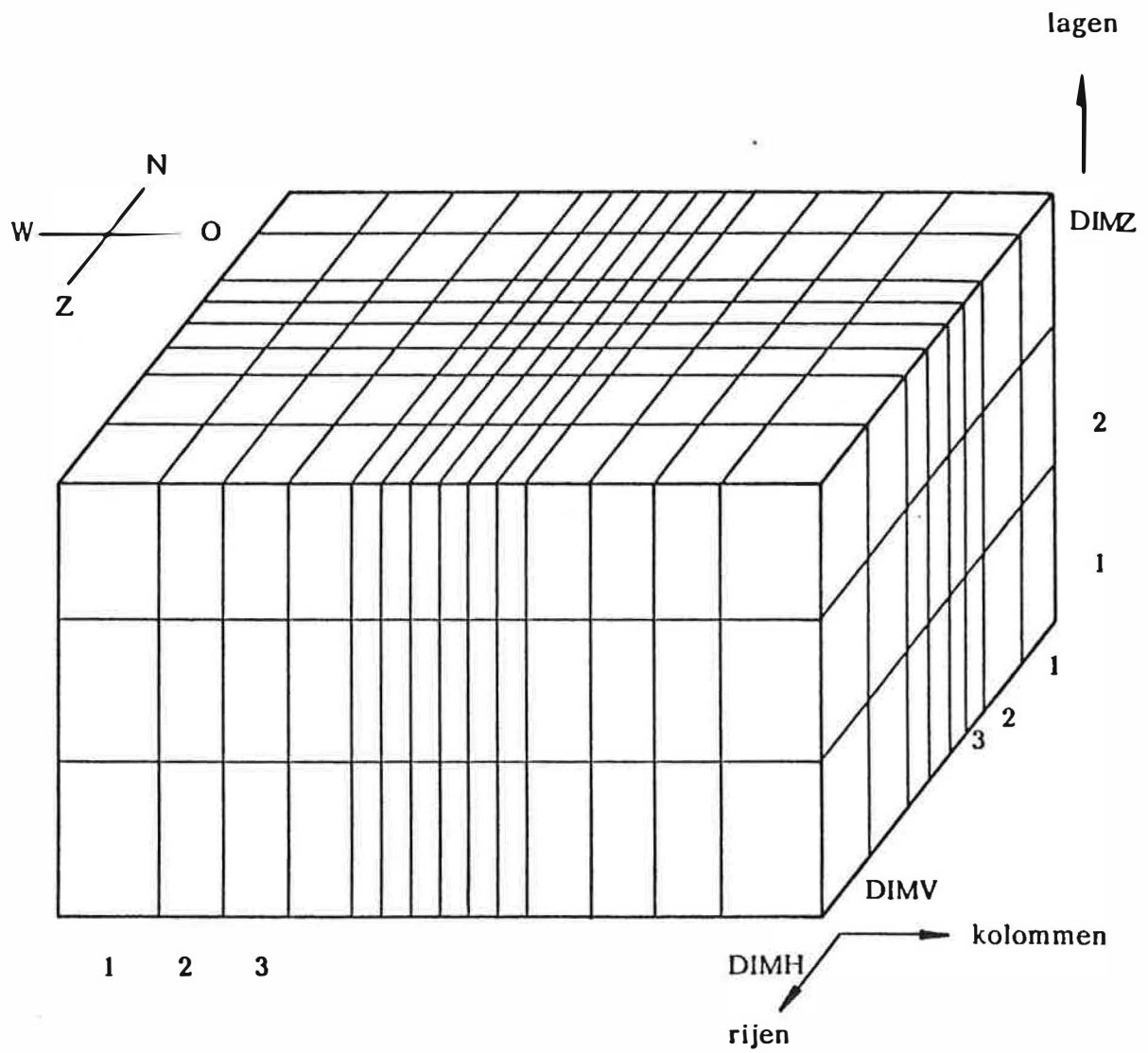


Fig. 2 - Eindig-verschil netwerk

In een cel wordt slechts één stijghoogte beschouwd, namelijk de stijghoogte in het nodale punt. Deze stijghoogte geeft het gemiddeld peil van het grondwater in de cel aan.

In voorliggende studie is gebruik gemaakt van het kwasi-driedimensioneel model RMOQ3D (LEBBE et al., 1985). Het aantal lagen in het model komt overeen met het aantal doorlatende lagen in het reservoir. De slecht-doorlatende lagen komen in de ruimtelijke voorstelling van het model niet expliciet voor. In dit model beschouwt men de stroming in een doorlatende laag uitsluitend horizontaal en in een slechtdoorlatende laag uitsluitend vertikaal. Door deze vereenvoudiging kan het aantal lagen in het model worden beperkt. De eindig-verschilvergelijkingen worden iteratief met de afwisselende richtingstechniek opgelost. Deze bestaat erin dat de vergelijkingen achtereenvolgens eens per laag, eens per kolom en eens per rij worden opgelost. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het THOMAS algoritme. De breedte van de kolommen en de rijen, alsook de dikte van de lagen hoeven niet konstant te zijn.

Voor de doorlatende lagen moet de horizontale doorlatendheid worden ingevoerd, voor de slechtdoorlatende lagen de hydraulische weerstand.

Bij de berekeningen is de dikte van de bovenste niet-afgesloten watervoerende laag (freatisch reservoir) afhankelijk van de stijghoogte in de laag, namelijk de watertafel, verminderd met het peil van de top van de bovenste slechtdoorlatende laag. Als de watertafel zich onder de top van de bovenste slecht-doorlatende laag bevindt, dan is er geen horizontale stroming van water naar aangrenzende cellen in de niet-afgesloten laag mogelijk, en is er enkel vertikale stroming van en naar de onderliggende lagen.

Grenzen kunnen in het model ondoorlatend zijn of een vaste stijghoogte hebben. In het modelgebied zelf kunnen cellen met vaste stijghoogte worden gedefinieerd.

In de niet-afgesloten watervoerende laag kunnen ook waterlopen voorkomen. Waterlopen kunnen in het mathematisch model drainerend of irrigierend werken, afhankelijk van waar de watertafel zich bevindt ten opzichte van het waterpeil in de waterloop. Ingeval de waterloop irrigierend werkt wordt door het model rekening gehouden met het debiet dat elke cel stroomopwaarts ontvangt.

Het model kan permanente stromingen berekenen ("steady state") of tijdsafhankelijke simulaties uitvoeren. In het laatste geval moeten de elastische bergingscoëfficiënten van de doorlatende lagen en de bergingscoëfficiënt nabij de watertafel ingegeven worden. Bij tijdsafhankelijke berekeningen kunnen tijdstappen van verschillende duur opgegeven worden.

Als resultaat van elke berekening geeft het model de stijghoogte in elke cel van het reservoir. Uit deze stijghoogten en de hydraulische parameters kunnen de horizontale stromingsdebieten in de doorlatende lagen en de verticale stromingsdebieten die tussen deze lagen uitgewisseld worden, bepaald worden. Ingeval er vaste stijghoogtecellen in het gebied voorkomen geeft het model aan hoeveel water deze cellen draineren of in het reservoir brengen. Tevens kan voor elke cel waardoor een waterloop stroomt verkregen worden hoeveel deze draineert of irrigiert. Als controle op de berekeningen wordt de totale balans per laag afgedrukt; hieruit kan afgeleid worden hoeveel water over de grenzen van het model stroomt. Desgewenst kan ook een balans per cel worden opgesteld.

### 3.3. Schematisering van het grondwaterreservoir

In het gemodelleerde gebied kan het grondwaterreservoir geschematiseerd worden in 2 doorlatende lagen gescheiden door een slechtdoorlatende laag. Deze indeling is gebaseerd op boorbeschrijvingen en de interpretatie van boorgatmetingen (zie eerste verslag). In de Scheldevallei kunnen binnen het modelgebied twee deelgebieden onderscheiden worden :

- de pleistocene vallei waar boven de zandlaag KZ een leempakket voorkomt dat in dikte varieert van enkele meters tot ca. 15 meter. De dikte neemt snel toe bij de overgang van de boreale naar de pleistocene vallei. In de zandlaag KZ komen hier leemhoudende laagjes voor.
- de boreale vallei waar boven de zandlaag KZ alluviale afzettingen voorkomen waarvan de dikte meestal ca. 4 m bedraagt.

Het substraat van het reservoir wordt overal gevormd door de Ieperse klei. Dit substraat wordt hier ondoorlatend verondersteld.

De onderste watervoerende laag (laag 1) wordt gevormd door de zandlaag KZ. De dikte van deze laag werd afgeleid uit de beschikbare boringen en varieert van enkele meters tot ca. 15 m.

De slechtdoorlatende laag wordt in de pleistocene vallei gevormd door de leemlaag KL. In de boreale vallei bestaat de slechtdoorlatende laag uit de alluviale afzettingen.

De bovenste watervoerende laag (laag 2) is de dunne zandlaag (soms aangevulde gronden) die boven de leem of alluviale laag wordt aangetroffen.

Op fig. 4 wordt de hydrogeologische schematisering van het



PLEISTOCENE VALLEI

BOREALE VALLEI

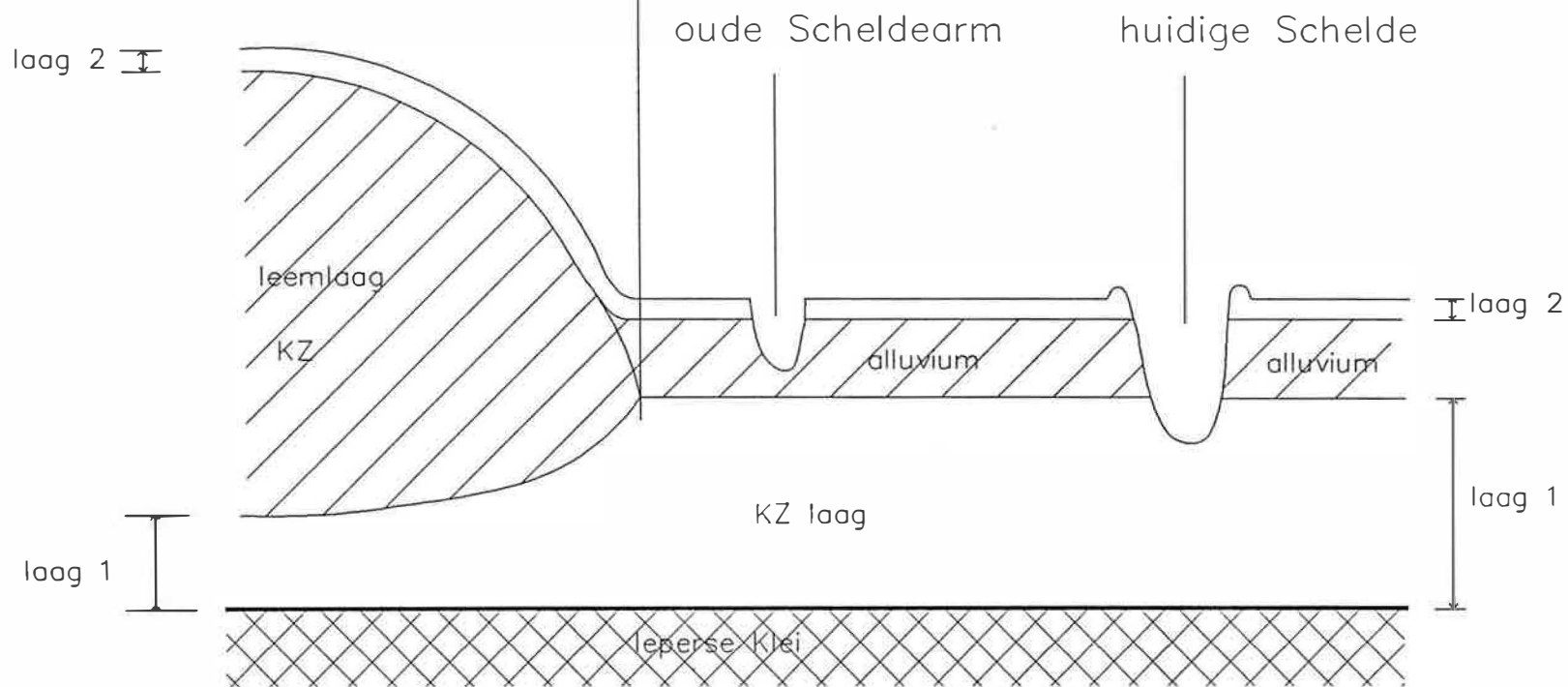


Fig.4 – Hydrogeologische schematisering van het grondwaterreservoir in het mathematisch model

grondwaterreservoir in het mathematisch model voorgesteld.

### 3.4. Ingevoerde gegevens

#### 3.4.1. Hydraulische parameters

##### 3.4.1.1. Horizontale doorlatendheden

De onderste watervoerende laag heeft in de boreale vallei een horizontale doorlatendheid van 9.4 m/d. Deze waarde werd bepaald uit de pompproef. In de pleistocene vallei komen in de laag KZ leemhoudende lagen voor. Daarom werd de doorlatendheid hier tot de helft gereduceerd.

Uit gegevens bekomen uit een pompproef uitgevoerd in de pleistocene vallei in september 1990 werd voor de transmissiviteit van laag 1 een waarde van 86,1 m<sup>2</sup>/d bekomen. Hiermee rekening houdend werd voor de modelberekeningen in het geval van de tweede en derde winningsputtenconfiguratie (zie 3.4.4.) een waarde voor de horizontale doorlatendheid van laag 1 van 8,61 m/d ingevoerd (dikte laag 1 in model bedraagt 10 m).

De bovenste watervoerende laag heeft een doorlatendheid van 1 m/d in de pleistocene vallei. In de valleien van de Snepbeek en de Brulbeek werd 5 m/d ingevoerd. In de alluviale vallei werd in de bovenste laag 0.1 m/d ingevoerd.

De ingevoerde doorlatendheden zijn op fig. 5 en 6 aangegeven.

##### 3.4.1.2. Vertikale doorlatendheden

In de twee deelgebieden werden verschillende waarden voor de verticale doorlatendheid van de slechtdoorlatende laag ingevoerd.

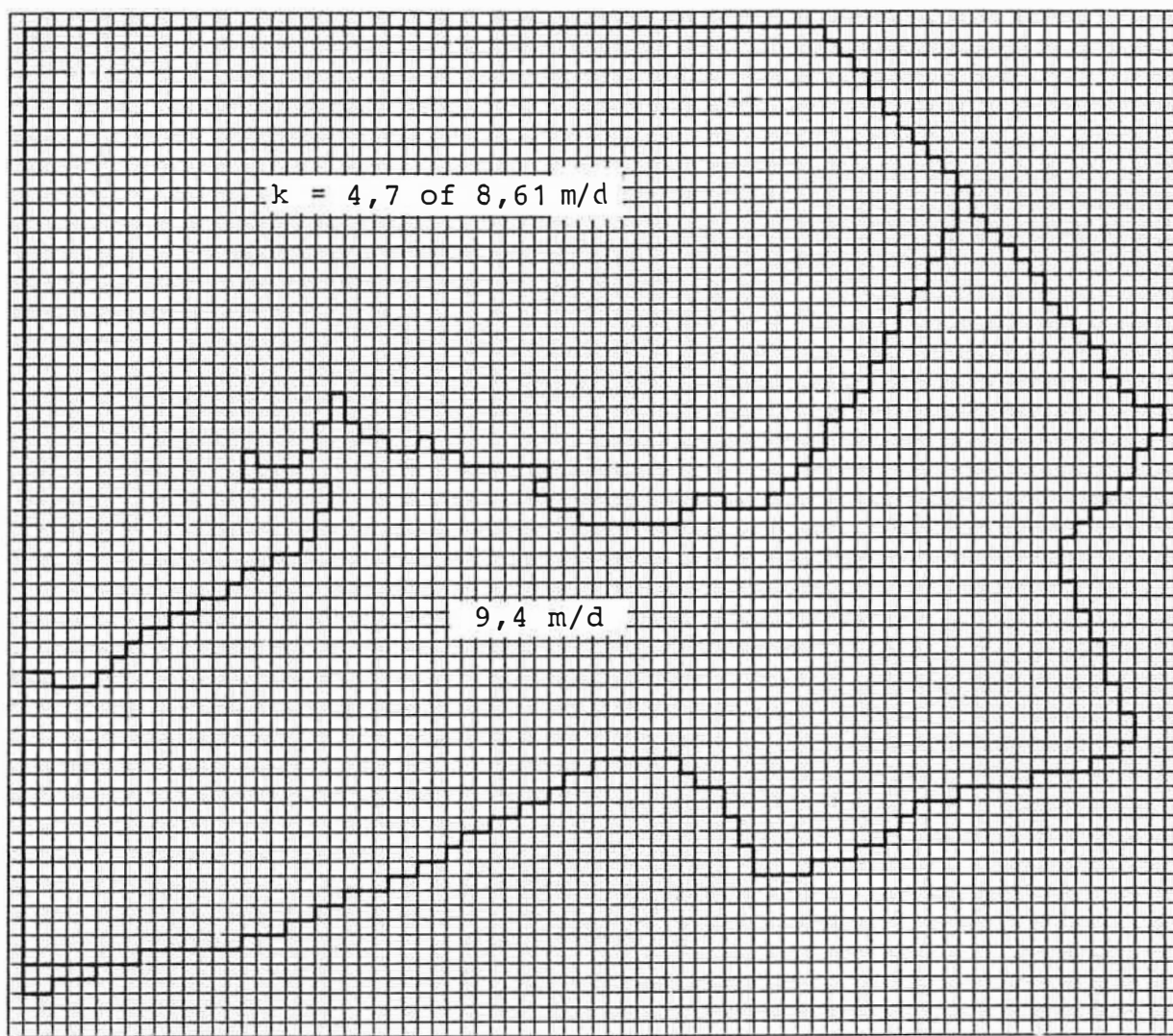
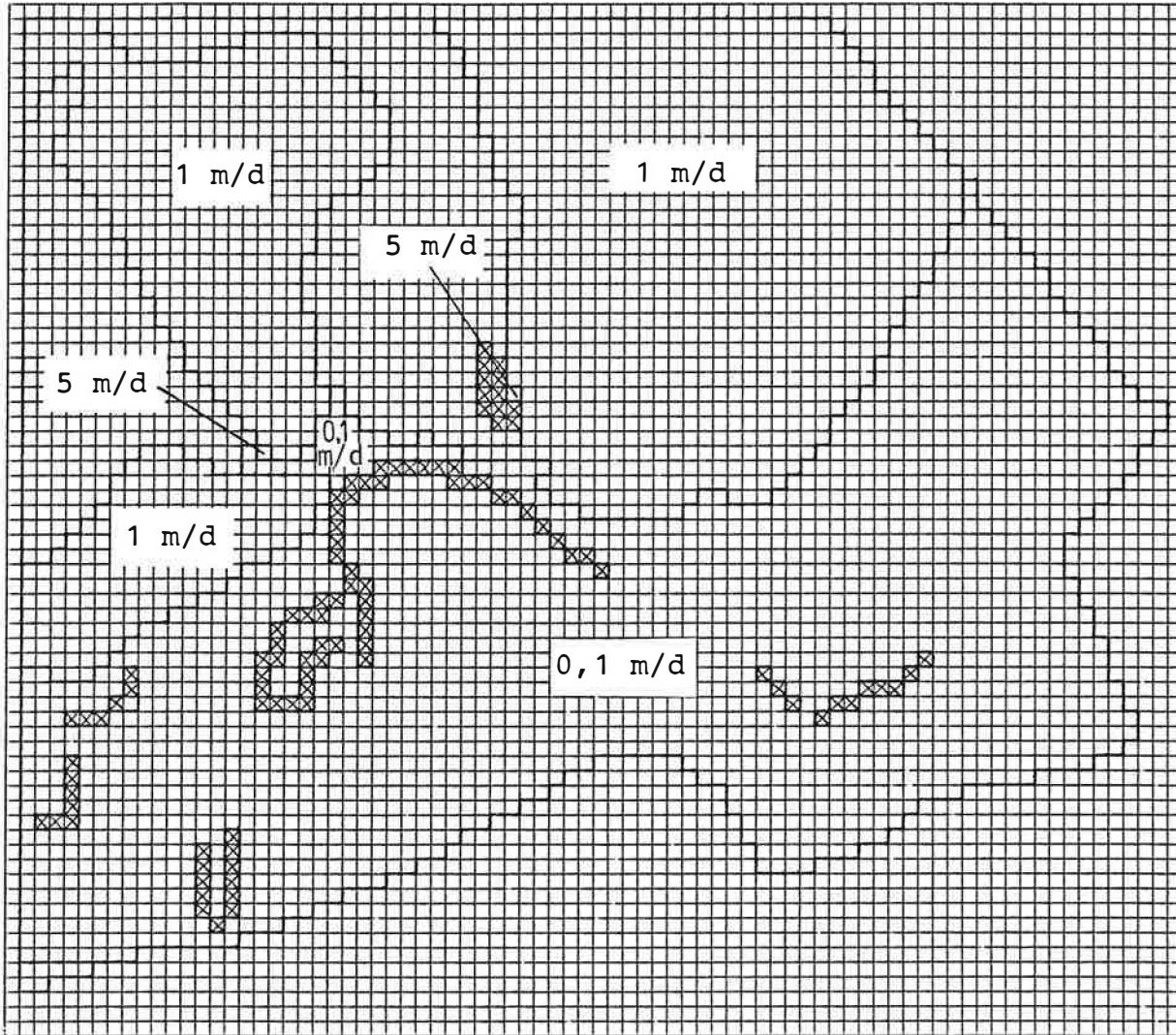


Fig.5 -Ingevoerde horizontale doorlatendheid in laag 1

- Volgens de eerste winningsputtenkonfiguratie 9,4 en 4,7 m/d
- Volgens de tweede en derde winningsputtenkonfiguratie 9,4 en 8,61 m/d



☒ = 100m/d

Fig.6 - Ingevoerde horizontale doorlatendheid in laag 2

In de pleistocene vallei werd de hydraulische weerstand van de leemlaag met een invers model bepaald (zie 3.5.). Er werd echter een minimale weerstand van 100 d per meter dikte vooropgesteld.

In de boreale vallei werd aan het alluvium een verticale weerstand toegekend die een representatieve waarde is van een reeks pompproeven die alle in de Scheldevallei zijn uitgevoerd. De hydraulische weerstand van het alluvium kan sterk variëren van plaats tot plaats. Zo werden volgende weerstanden bekomen uit de interpretatie van vijf andere pompproeven (LEBBE, L., 1988) :

|         |        |
|---------|--------|
| Ruien   | 1460 d |
| Zingem  | 168 d  |
| Zingem  | 47.5 d |
| Welden  | 44.5 d |
| Petegem | 41.4 d |

Het is duidelijk dat de in deze studie gevonden waarde van 2300 d aan de hoge kant is en niet als een representatieve waarde voor het ganse gebied kan aangenomen worden. Daarom werd hier de mediaan van de zes gevonden waarden aangehouden, namelijk 107.75 d.

Onder de loop van de Schelde werd de waarde van de weerstand verlaagd tot 25 d. De Schelde is uitgediept tot in de laag KZ. De resterende 25 d is de geschatte weerstand tengevolge van de toeslibbing van de bedding.

Onder de loop van de oude Scheldearm werd de weerstand tot de helft teruggebracht. Er wordt aangenomen dat de arm zich tot halfweg het alluvium bevindt.

De ingevoerde hydraulische weerstanden zijn voorgesteld op fig. 7.



Fig.7 - Ingevoerde hydraulische weerstand van de laag KL

### 3.4.2. Grensvoorwaarden

In de onderste watervoerende laag vallen de west- en de oostgrens samen met stroomlijnen. Deze grenzen kunnen als ondoorlatend beschouwd worden.

De zuidgrens werd als een vaste stijghoogtegrens ingevoerd. Er werd langs de zuidrand een gelijke stijghoogte aangenomen van 11.5 m (één meter onder maaiveld).

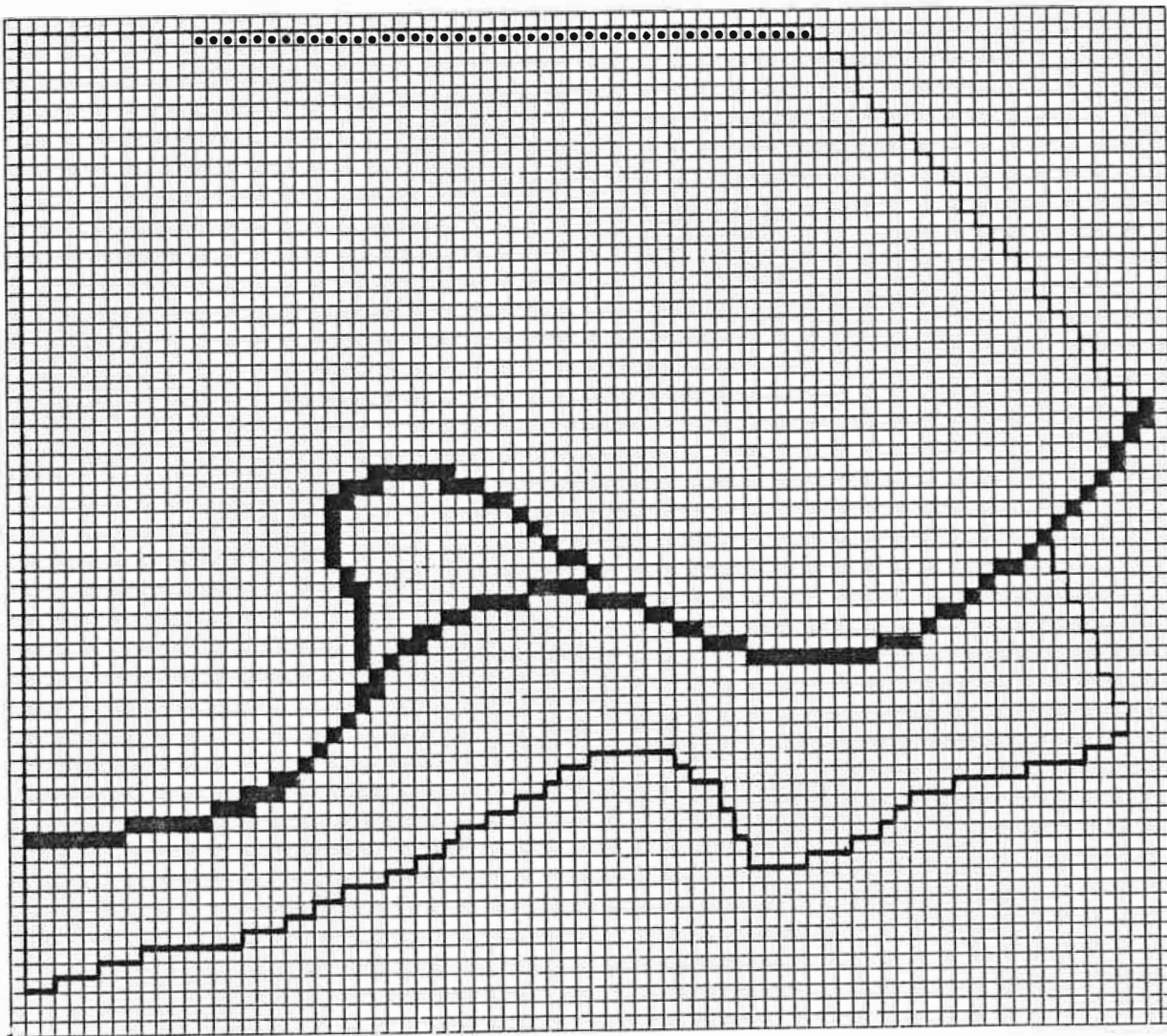
Over de noordgrens stroomt grondwater het modelgebied binnen. Deze hoeveelheid werd geschat op de hoeveelheid neerslag die infiltreert in het gebied tussen de noordrand van het model en de voet van het talud van de heuvels in het noorden. Hiervoor werd de hoogtelijn van 30 m gekozen. Het water werd in de cellen naast de noordrand geïnjecteerd (zie 3.4.4.).

In de bovenste watervoerende laag werden alle grenzen ondoorlatend genomen. Hier gebeurt uitsluitend verticale stroming doorheen de alluviale afzettingen of de leemlaag.

De loop van de Schelde werd als vaste stijghoogtecellen in de bovenste laag van het model opgenomen. De vaste stijghoogte bedraagt 9.83 m. Dit is het waterpeil dat in het beschouwde pand minimum wordt aangehouden. Meestal is het waterpeil iets hoger.

De oude Scheldearm werd eveneens als vaste stijghoogte in het model opgenomen. De ingevoerde stijghoogte bedraagt 9.92 m. Deze waarde werd op het veld vastgesteld.

De grensvoorwaarden zijn op fig. 8 voorgesteld.



◼ = cel waarin een hoeveelheid water geïnjecteerd wordt

■ = vaste stijghoogtecel in laag 2

— = vaste stijghoogtegrens

— = ondoorlatende grens

Fig. 8 - Ingevoerde randvoorwaarden



### 3.4.3. Infiltratie

Er werd een nuttige neerslag van 270 mm per jaar ingevoerd.

In het lage deel van de vallei (alluviale vlakte) komt een uitgebreid afvoerstelsel voor (talrijke zijgrachten van de Rietgracht en de Zijpte Afloop), zodat hier een grotere oppervlakkige afvoer kan plaatsvinden. In de boreale vallei werd derhalve de nuttige neerslag tot een kwart herleid.

Onder het terrein tussen de Schelde en de oude Scheldearm is een drainagesysteem aanwezig. Onder dit gebied zal er een opwaartse stroming (vanuit de laag KZ) plaatsvinden. Daarom wordt bij de simulatie van de toestand zonder pompen de nuttige neerslag tot nul herleid. Bij de simulaties met pompingen, waarbij verlagingen van de watertafel optreden, zal het drainagesysteem zijn functie verliezen. Bij deze berekeningen wordt de nuttige neerslag op 270 mm per jaar gehouden.

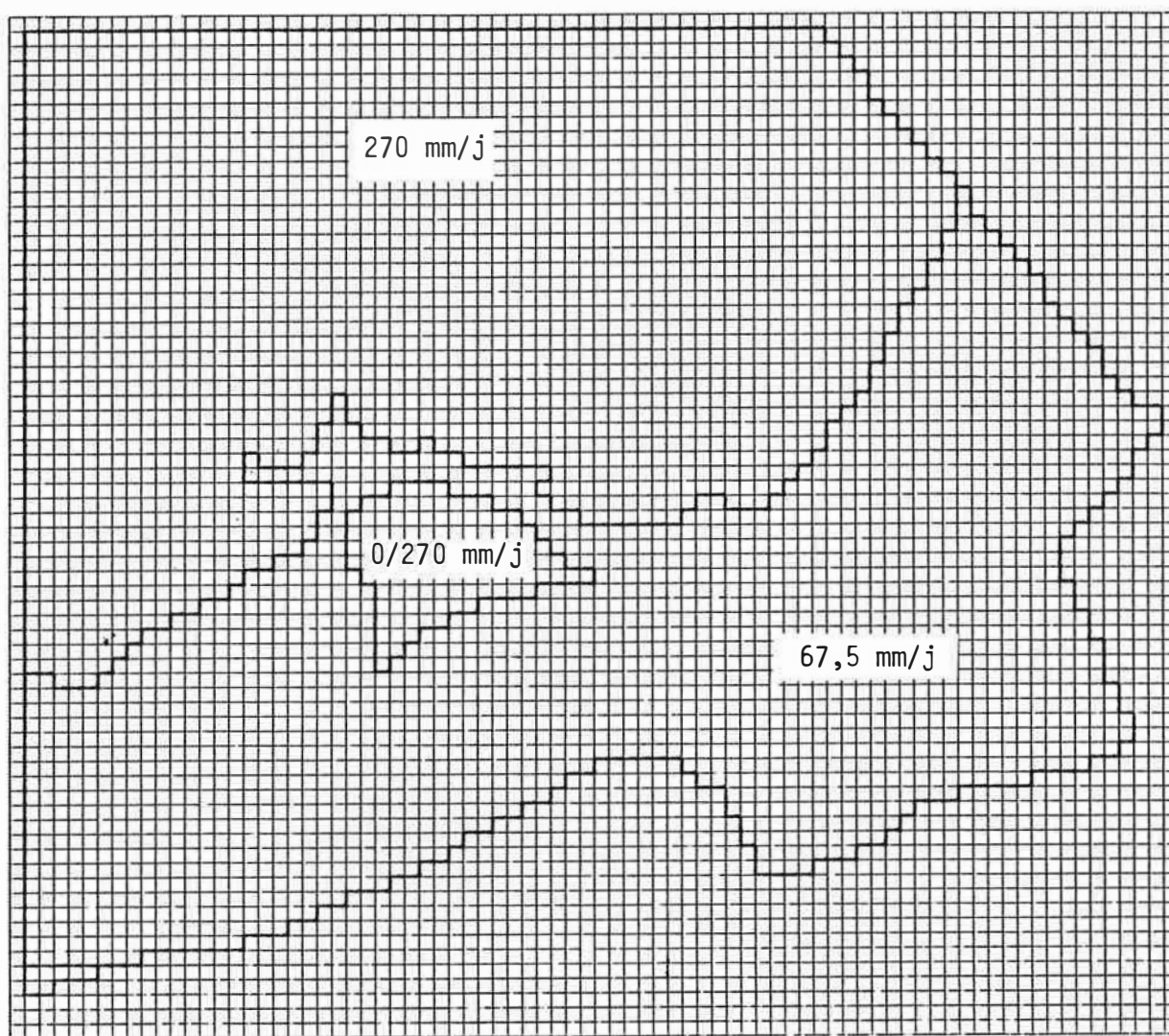
De ingevoerde nuttige neerslag is voorgesteld op fig. 9.

### 3.4.4. Pompingen

Bij alle simulaties werden in de cellen langs de noordrand hoeveelheden grondwater geïnjecteerd (zie 3.4.2.). De debieten nemen toe van west naar oost en bedragen maximaal 25 m<sup>3</sup>/d per cel. Deze hoeveelheden zijn de geschate debieten die over de noordgrens het modelgebied binnenstromen.

Bij de simulaties met de waterwinning werden in overleg met de opdrachtgever drie verschillende winningsputtenkonfiguraties uitgewerkt.

De eerste configuratie bestaat uit een batterij van 15 pompputten binnen de oude Scheldearm. Er wordt uit de onderste watervoerende laag KZ gepompt. Alle putten zijn gelegen in



0/270 mm/j : 0 = in natuurlijke toestand  
270= bij pompen

Fig.9 - Ingevoerde nuttige neerslag in het modelgebied

het gebied tussen de oude Scheldearm en de huidige Schelde. Ze zijn min of meer gelijkmatig over het terrein verspreid (fig. 10). Bij de berekeningen werd het totale debiet over alle putten gelijk verdeeld. Er werden simulaties uitgevoerd met totale debieten van 4500, 4000 en 3500 m<sup>3</sup>/d.

De tweede configuratie bestaat uit een batterij van 15 winningsputten op de linker Scheldeoever buiten de oude Scheldearm (fig. 11) en de batterij binnen de oude Scheldearm. Bij een derde configuratie wordt enkel gepompt buiten de oude Scheldearm. Ook hier wordt telkens uit de watervoerende laag KZ gepompt. Het debiet werd gelijkmatig over alle pompputten verdeeld. Er werden simulaties uitgevoerd met totale debieten van 3000 en 2000 m<sup>3</sup>/d.

#### 3.4.5. Waterlopen

In het model werden de belangrijkste beken als waterlopen ingebracht. Enkel de Schelde en de oude Scheldearm werden als vaste stijghoogten opgenomen (zie 3.4.2.).

De beken die als waterloop in het model zijn opgenomen zijn aangeduid op fig. 12. De belangrijkste zijn de Snepbeek, de Brulbeek, de Rietgracht op de noordelijke Scheldeoever en de Rijtgracht en de Zijpte Afloop op de zuidelijke oever. De ingevoerde vloerhoogten (de bedding) werden geschat aan de hand van de topografische kaart en veldmetingen. De hydraulische kontaktfactor bedraagt 50 m<sup>2</sup>/d per cel.

#### 3.4.6. Referentievlak

Het referentievlak komt in het model overeen met de top van de bovenste slechtdoorlatende laag. Dat is hier ofwel de leemlaag (pleistocene vallei) ofwel het alluvium (boreale vallei). Het referentievlak werd in heel het modelgebied 0.5 m onder het maaiveld genomen.

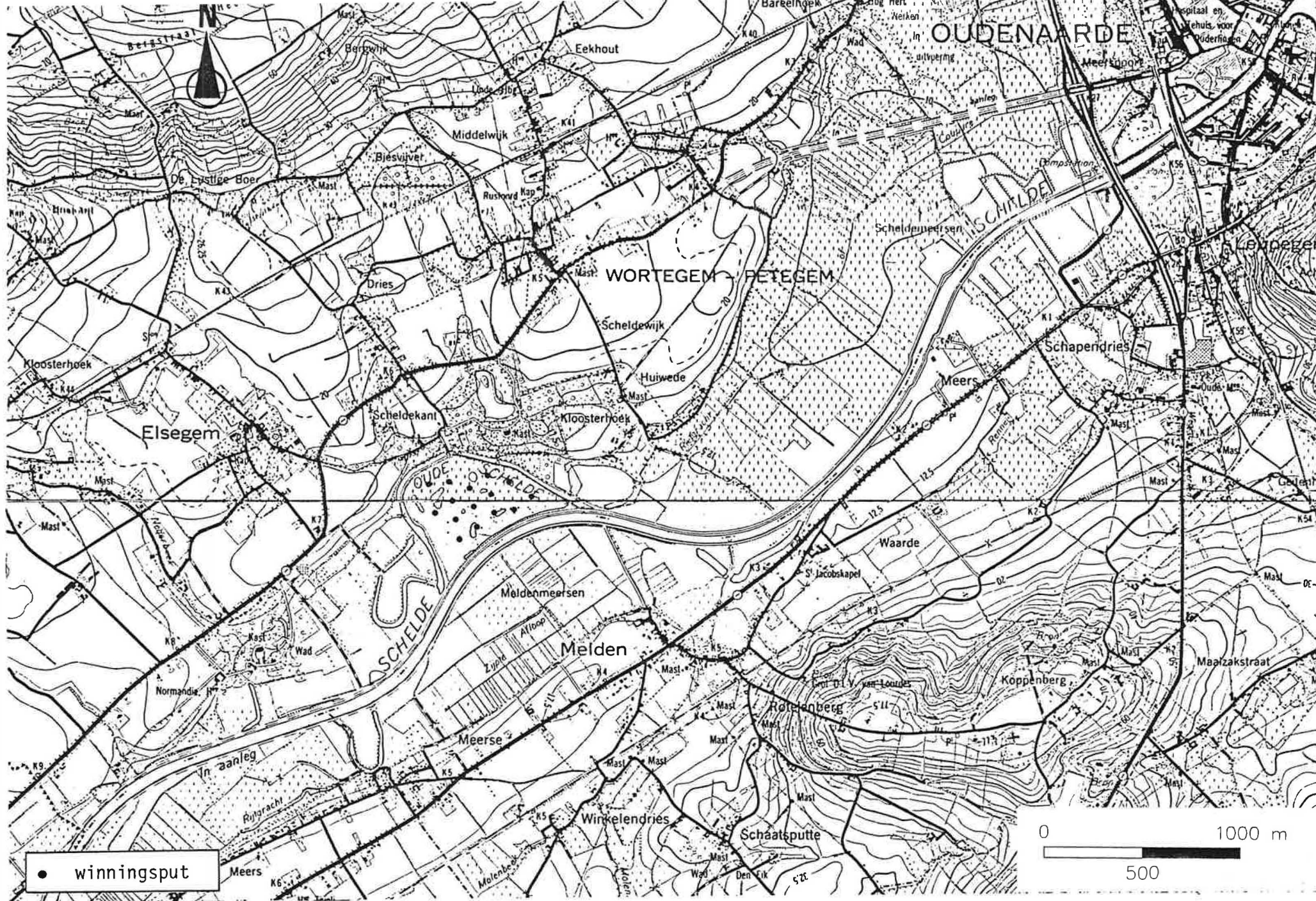


Fig.10 - Ligging van de pompputten - eerste configuratie





Fig.11 - Ligging van de pompputten - derde configuratie

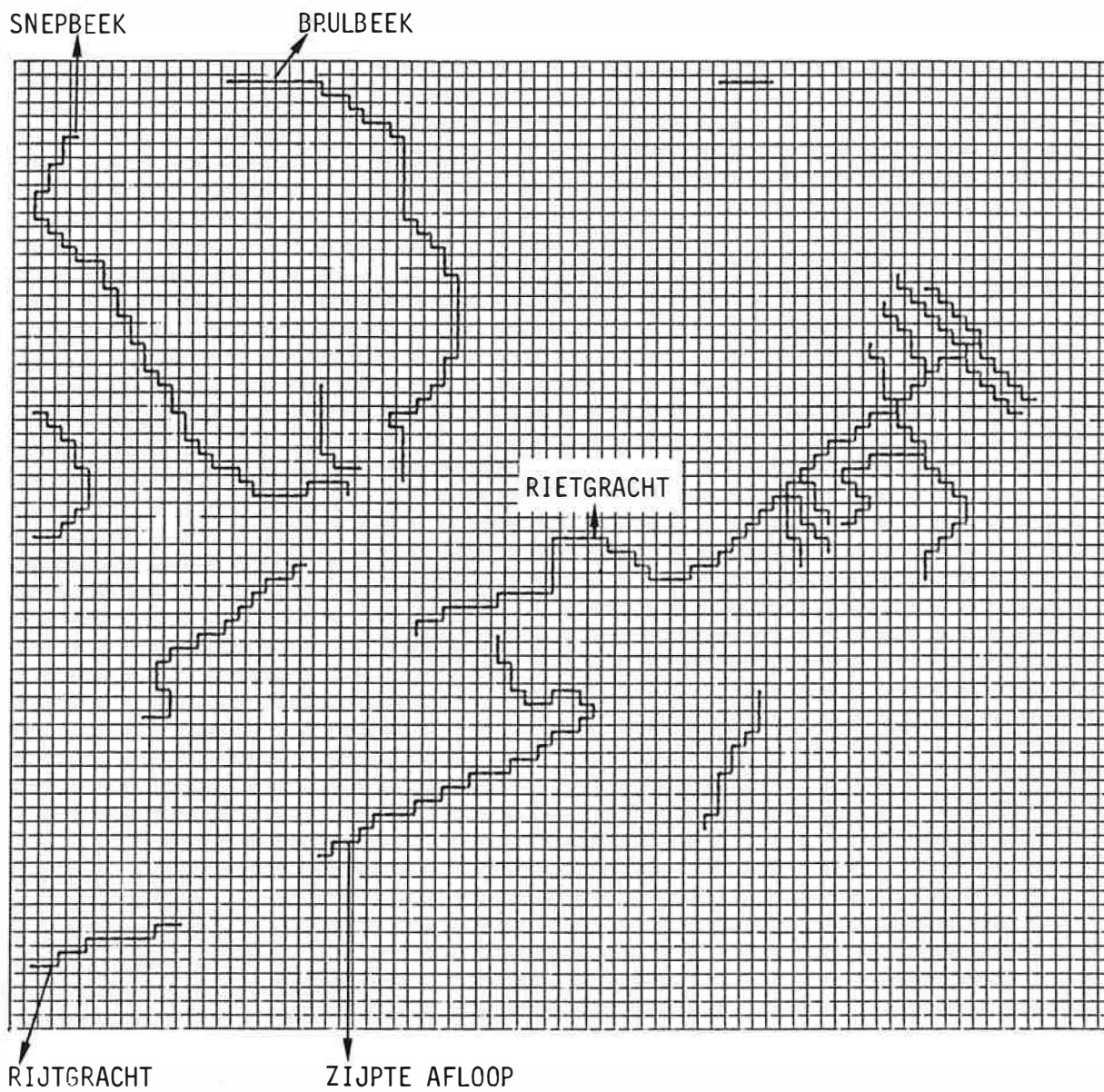


Fig.12 - Ingevoerde waterlopen in het model

### 3.5. IJking van het model

Tijdens de ijking van het model werd de hydraulische weerstand van de leemlaag KL bepaald. Deze parameter kon niet uit de pompproef afgeleid worden, aangezien deze werd uitgevoerd in het gebied waar de leemlaag niet voorkomt. Bij de ijking werd aangenomen dat in het gebied waar de leemlaag voorkomt de watertafel 1 meter onder het maaiveld ligt en zich in de leemlaag bevindt. In dit gebied kan er bijgevolg enkel verticale stroming doorheen de leemlaag plaatsvinden. In een dergelijk geval kan de waarde van deze verticale stroming gelijkgesteld worden aan de nuttige neerslag die hier op 270 mm per jaar wordt geschat. Uit het verschil tussen het berekende en geschatte stijghoogteverschil tussen de watertafel en de stijghoogte in de laag KZ kan de waarde van de hydraulische weerstand aangepast worden.

Tijdens opeenvolgende berekeningen werd de waarde van deze weerstand aangepast tot de berekende stijghoogte van de watertafel overeenkwam met de geschatte stijghoogte. Er werd wel een minimale waarde van 100 dagen per meter dikte vooropgesteld. De resulterende hydraulische weerstanden zijn voorgesteld op fig. 7.

### 3.6. Resultaten

#### 3.6.1. Inleiding

Om de invloed van de geplande winning te kunnen evalueren werd eerst een berekening uitgevoerd van de toestand zonder winning. Nadien werden in een eerste fase simulaties uitgevoerd voor winningsdebieten van 4500, 4000 en 3500 m<sup>3</sup>/d (ligging winningsputten zie fig. 10). Vergelijking van deze resultaten met de toestand zonder winning geeft de te verwachten verlagingen bij de verschillende debieten.

Aangezien men mag verwachten dat de voorgestelde winningen op langere termijn een gedeelte water uit de Schelde zullen oppompen (zie 4) werden in een tweede fase (in overleg met de opdrachtgever) berekeningen uitgevoerd met de winningsplaatsen (zie fig. 11) verder van de Schelde verwijderd (zie 3.5.7. en volgende).

### 3.6.2. Toestand zonder winning

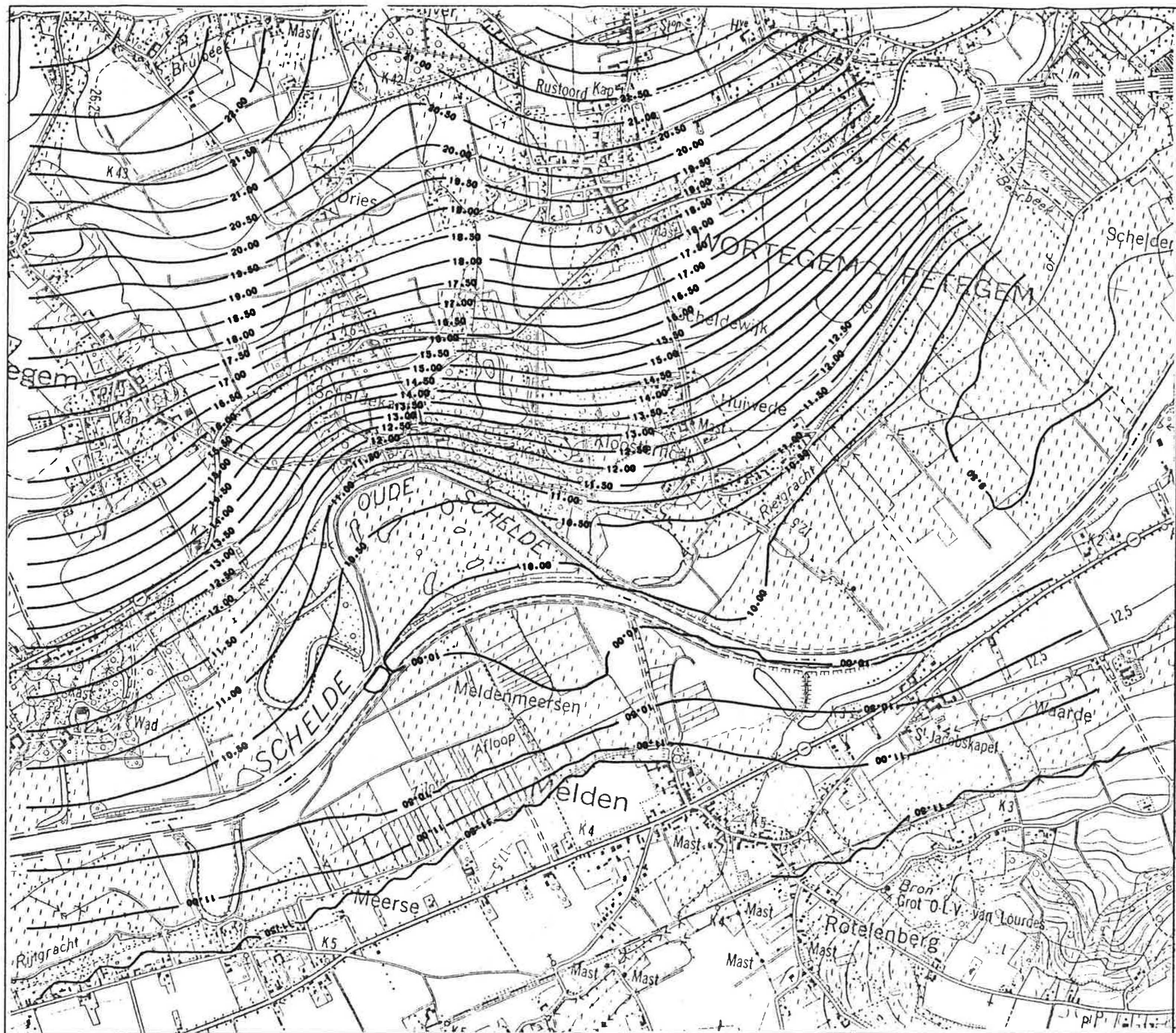
De berekende stijghoogten van de toestand zonder winning zijn voorgesteld op PLATEN 1 en 2.

In de watervoerende laag KZ (PLAAT 1) gebeurt de grondwaterstroming vanuit het noorden naar de Schelde toe. In het oosten van het gebied gebeurt de stroming vanuit het noorden naar de Rietgracht toe. Deze heeft daar een lager waterpeil dan de Schelde. Vanuit de zuidrand is er een stroming naar de Schelde toe. In het noorden van het modelgebied komt onder de leembedekking een grote gradiënt voor : de stijghoogten nemen hier snel toe in noordelijke richting.

Het stijghoogtepatroon van de watertafel in vergelijking met laag 1 (PLAAT 2) wordt meer beïnvloed door de waterlopen en de topografie. Zo is in het noorden de aanwezigheid van twee hoger gelegen gebieden (o.a. rond de dorpskom van Wortegem-Petegem) te bemerken. Ertussen bevinden zich de lager gelegen valleien van de Snepbeek en de Brulbeek.

De watertafel bevindt zich in het studiegebied meestal in de leemlaag of in de alluviale afzettingen. Hierdoor zal er geen horizontale stroming optreden en enkel een verticale stroming plaatsvinden doorheen de slechtdoorlatende laag. Enkel nabij de waterlopen zal er een horizontale afvloei gebeuren.





PLAAT 1: TOESTAND ZONDER WINNING

LAAG 1

ISOLIJNEN

LIJNEN OM DE 0.50 METER



LAAG 2

ISOLIJNEN

LIJNEN OM DE 0.50 METER

### 3.6.3. Toestand met winning van 4500 m<sup>3</sup>/d volgens de eerste puttenkonfiguratie

De berekende stijghoogten zijn voorgesteld op de PLATEN 3 en 4.

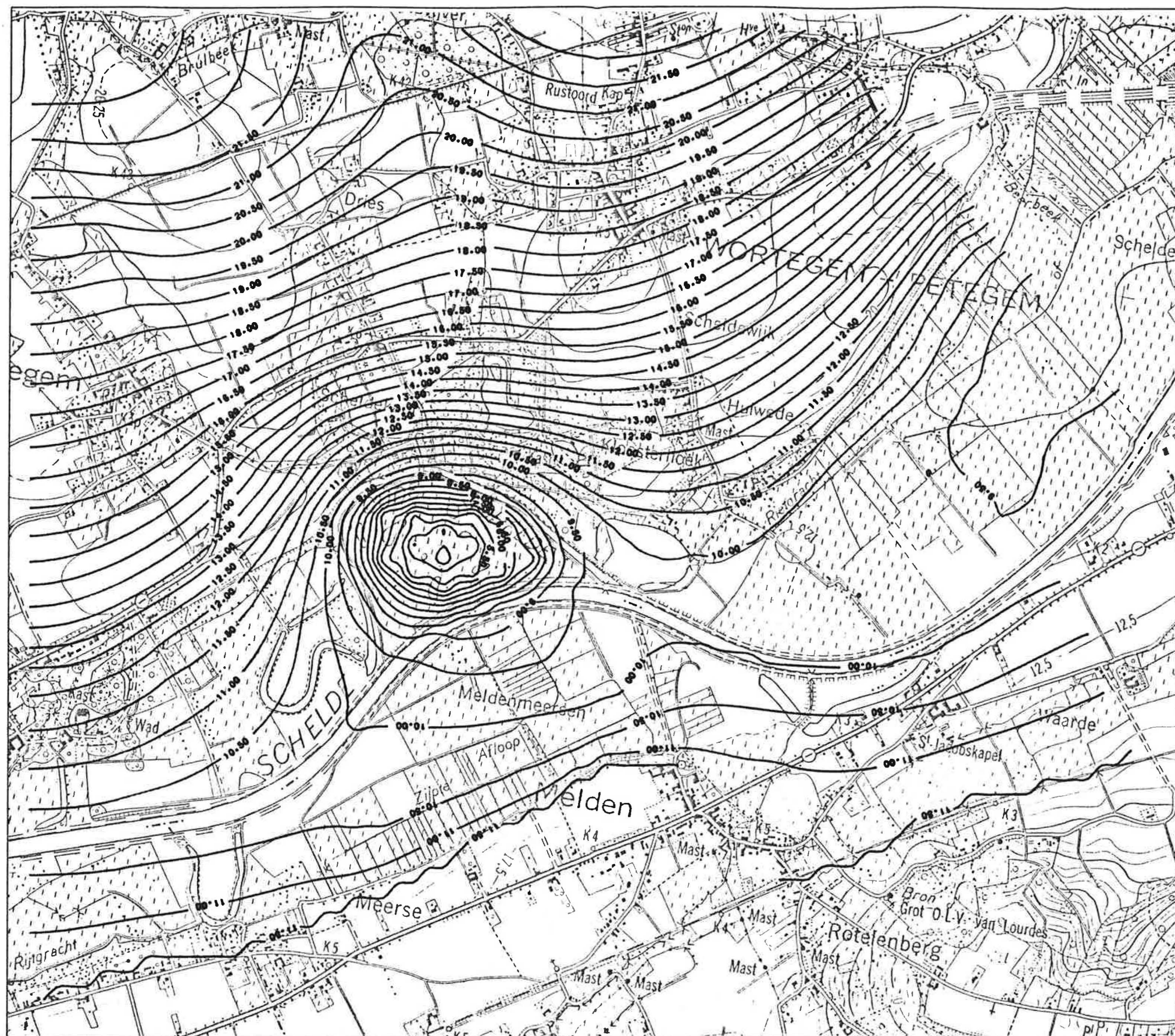
In de laag KZ (PLAAT 3) stroomt in een groot deel van het gebied het grondwater naar de winning toe. Zowel vanuit het noorden als vanuit het gebied ten zuiden van de Schelde zal er een stroming naar de waterwinning plaatsvinden. Nabij de westrand blijft de stroming naar de Schelde toe verlopen, in het oosten van het model blijft er stroming naar de Rietgracht plaatsvinden. De stijghoogten in de pompputten van de winning zullen lager zijn dan de waarden die het model in de overeenkomstige cellen van het netwerk berekent. Deze waarden zijn immers gemiddelde waarden voor het ganse oppervlak van de beschouwde cel.

Het stijghoogtepatroon van de watertafel (PLAAT 4) toont dat rondom de winning, binnen de oude Scheldearm, de watertafel gevoelig zal dalen.

Op PLATEN 5 en 6 zijn de te verwachten verlagingen in laag 1 en van de watertafel uitgezet. In de aangepompte laag (KZ) kunnen verlagingen tot 6 m optreden in de onmiddellijke omgeving van de winning. Ook de watertafel zou ongeveer 6 m dalen. Deze verlaging blijft hoofdzakelijk beperkt tot het gebied binnen de oude Scheldearm. Buiten de Scheldearm zijn verlagingen van meer dan 1,5 meter mogelijk tussen de wijk Kloosterhoek en de oude Scheldearm.

In het model wordt aangenomen dat het peil in de oude Scheldearm konstant wordt gehouden.





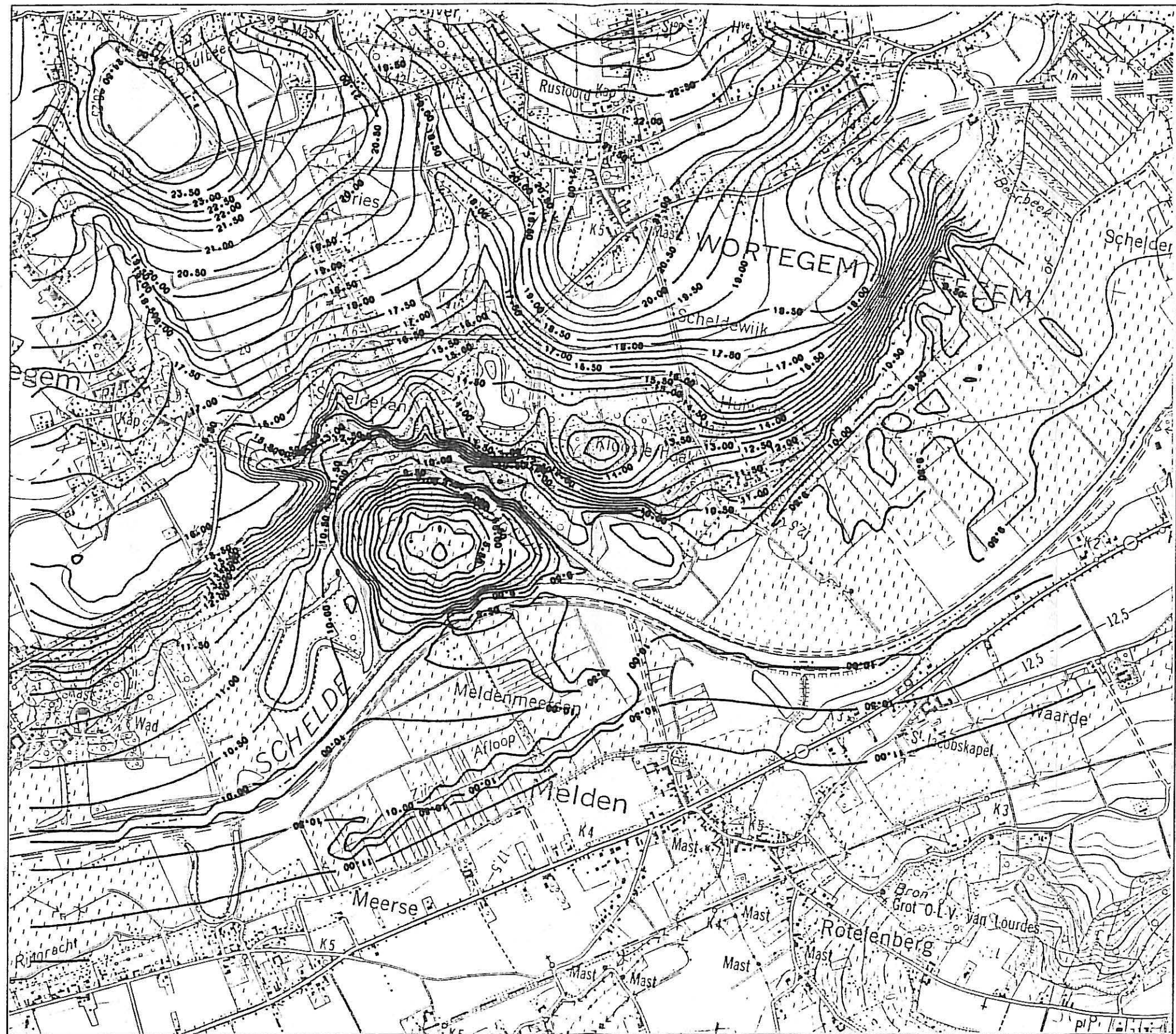
PLAAT 3: TOESTAND MET WINNING VAN 4500 M3/DAG

LAAG 1

ISOLIJNEN

LIJNEN OM DE 0.50 METER

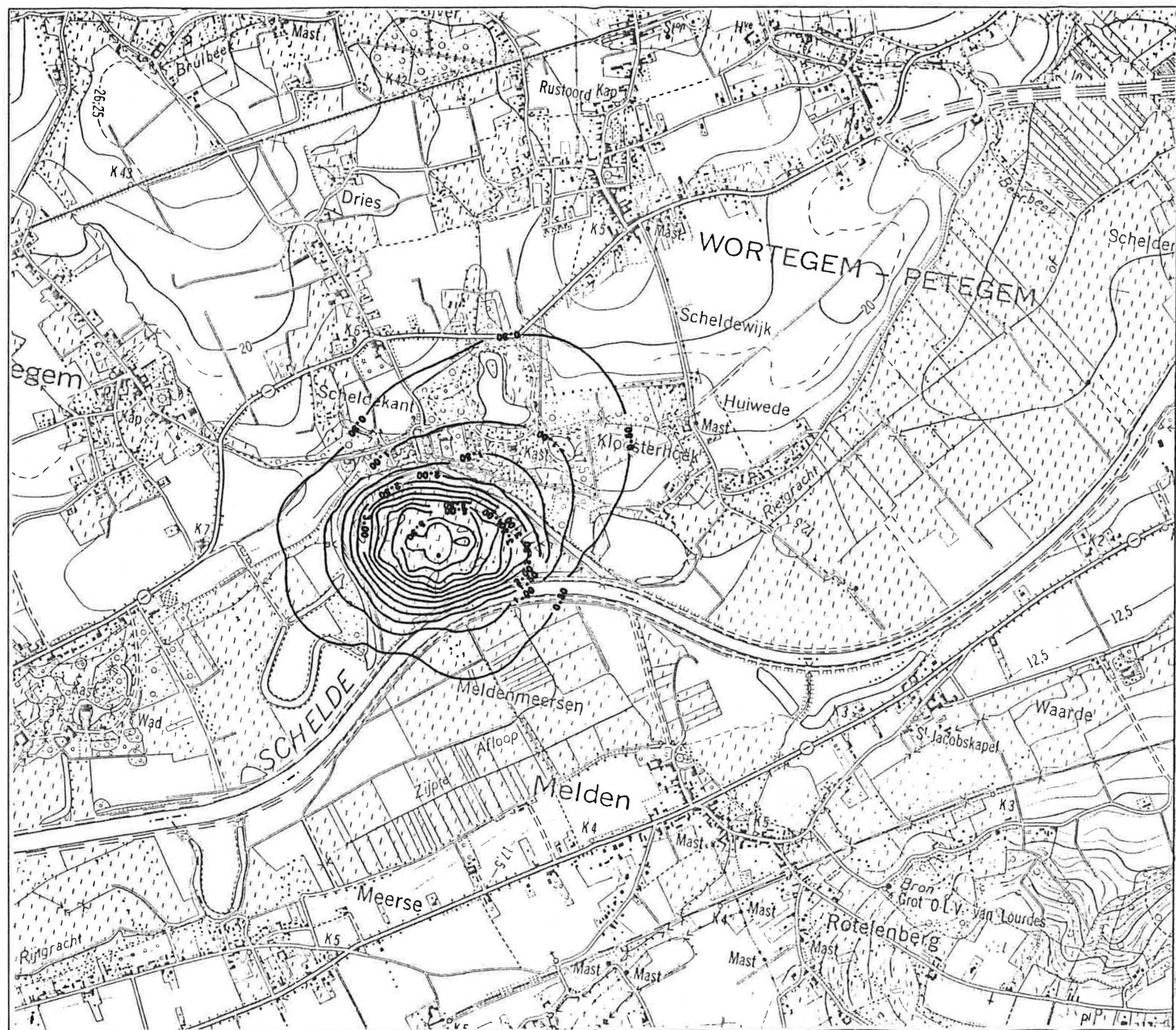




PLAAT 4: TOESTAND MET WINNING VAN 4500 M<sup>3</sup>/DAG

|        |                         |
|--------|-------------------------|
| LAAG 2 | ISOLIJNEN               |
|        | LIJNEN OM DE 0.50 METER |





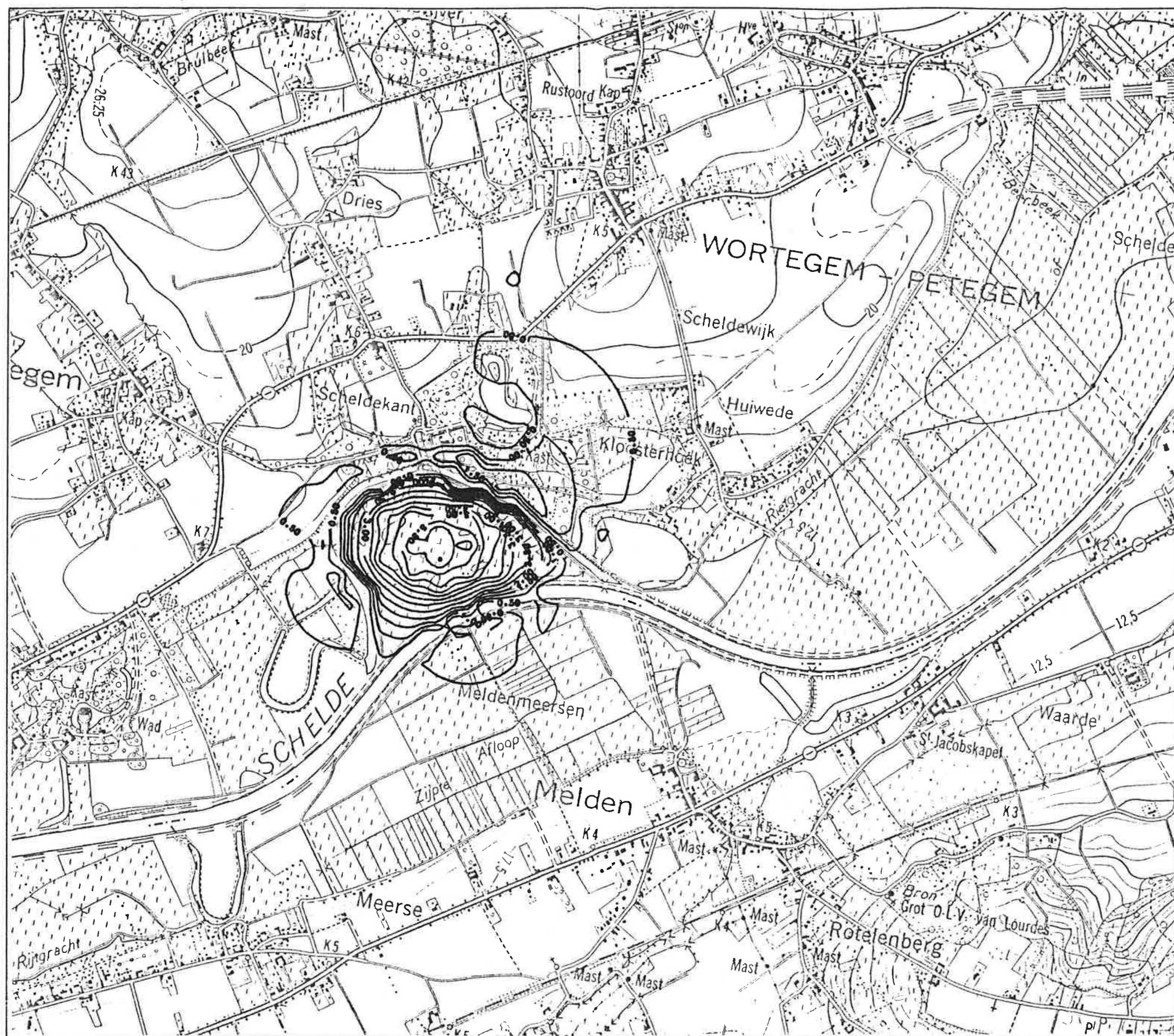
PLAAT 5: VERLAGING IN LAAG 1 BIJ 4500 M3/DAG

LAAG 1-LAAG 1

ISOLIJNEN

LIJNEN OM DE 0.50 METER





PLAAT 6: VERLAGING WATERTAFEL BIJ WINNING VAN 4500 M3/DAG

LAAG 2-LAAG 2

ISOLIJNEN

LIJNEN OM DE 0.50 METER

#### 3.6.4. Toestand met winning van 4000 m<sup>3</sup>/d volgens de eerste puttenkonfiguratie

Op PLAAT 7 en 8 staan de berekende stijghoogten in laag 1 en 2 bij winning van 4000 m<sup>3</sup>/d. De stijghoogtepatronen zijn gelijkaardig aan de toestand met 4500 m<sup>3</sup>/d.

De verlagingen zijn voorgesteld op PLATEN 9 en 10.

In de laag KZ komen verlagingen voor tot 5.5 m in het centrum van de winning. Ook de verlaging van de watertafel zou tot 5.5 m bedragen. Ook tussen de oude Scheldearm en de wijk Kloosterhoek zouden verlagingen optreden tot meer dan 1.5 m.

#### 3.6.5. Toestand met winning van 3500 m<sup>3</sup>/d volgens de eerste puttenkonfiguratie

Op PLAAT 11 en 12 staan de berekende stijghoogten in laag 1 en 2 bij winning van 3500 m<sup>3</sup>/d. De stijghoogtepatronen zijn gelijkaardig aan de toestand met 4500 m<sup>3</sup>/d.

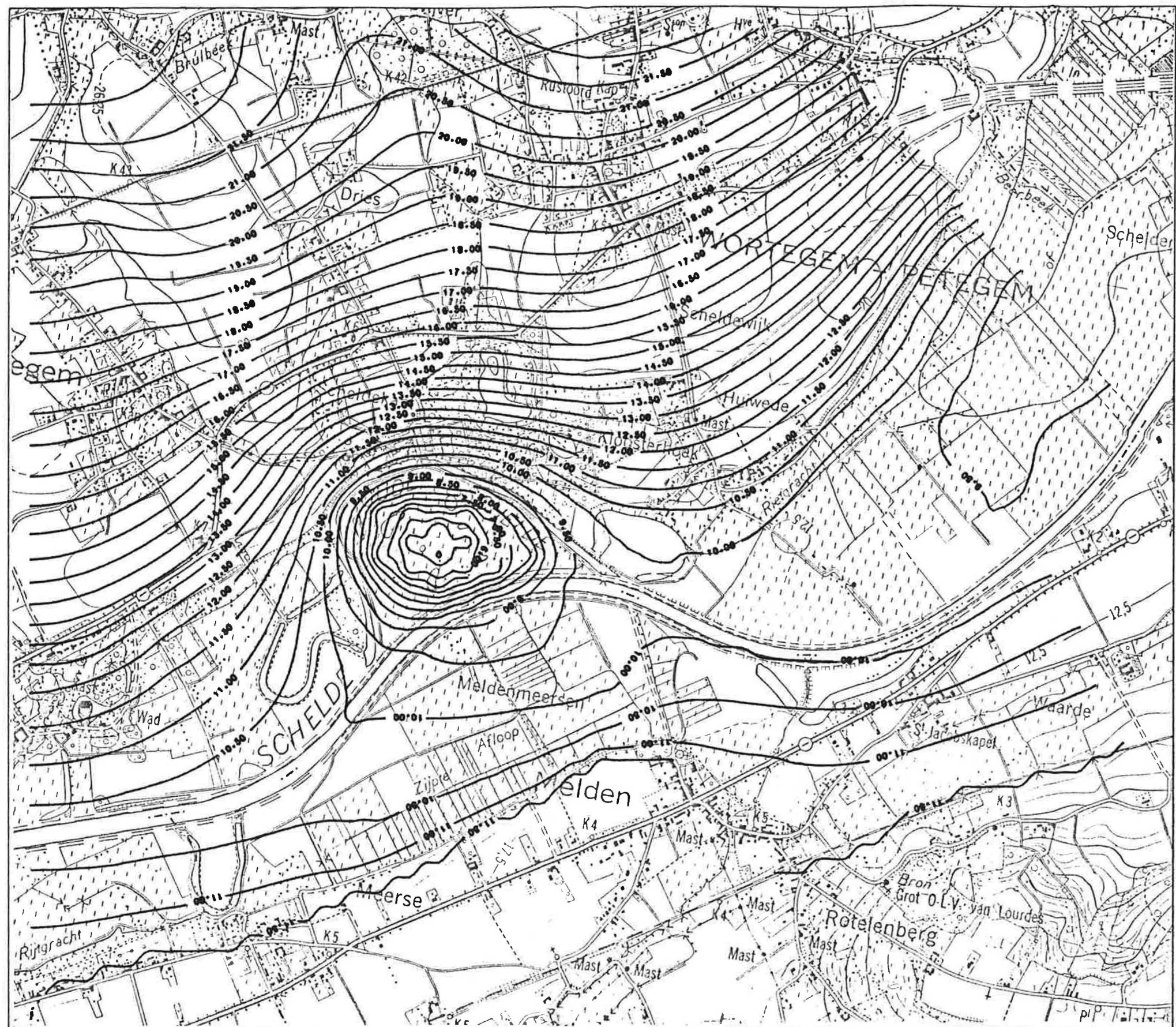
De verlagingen zijn voorgesteld op PLATEN 13 en 14.

In de laag KZ komen verlagingen voor tot 5.0 m in het centrum van de winning. Ook de verlagingen van de watertafel zou tot 5.0 m bedragen. Tussen de oude Scheldearm en de wijk Kloosterhoek zouden verlagingen optreden tot meer dan 1.0 m.

#### 3.6.6. Toestand met winning van 3000 m<sup>3</sup>/d volgens de tweede puttenkonfiguratie

Op PLAAT 15 en 16 staan de berekende stijghoogten in laag 1 en 2 bij winning van 3000 m<sup>3</sup>/d. Hierbij wordt 1000 m<sup>3</sup>/d onttrokken op het golfterrein en 2000 m<sup>3</sup>/d ten noorden van de oude Scheldearm (ligging winningsputten zie fig. 10 en 11).





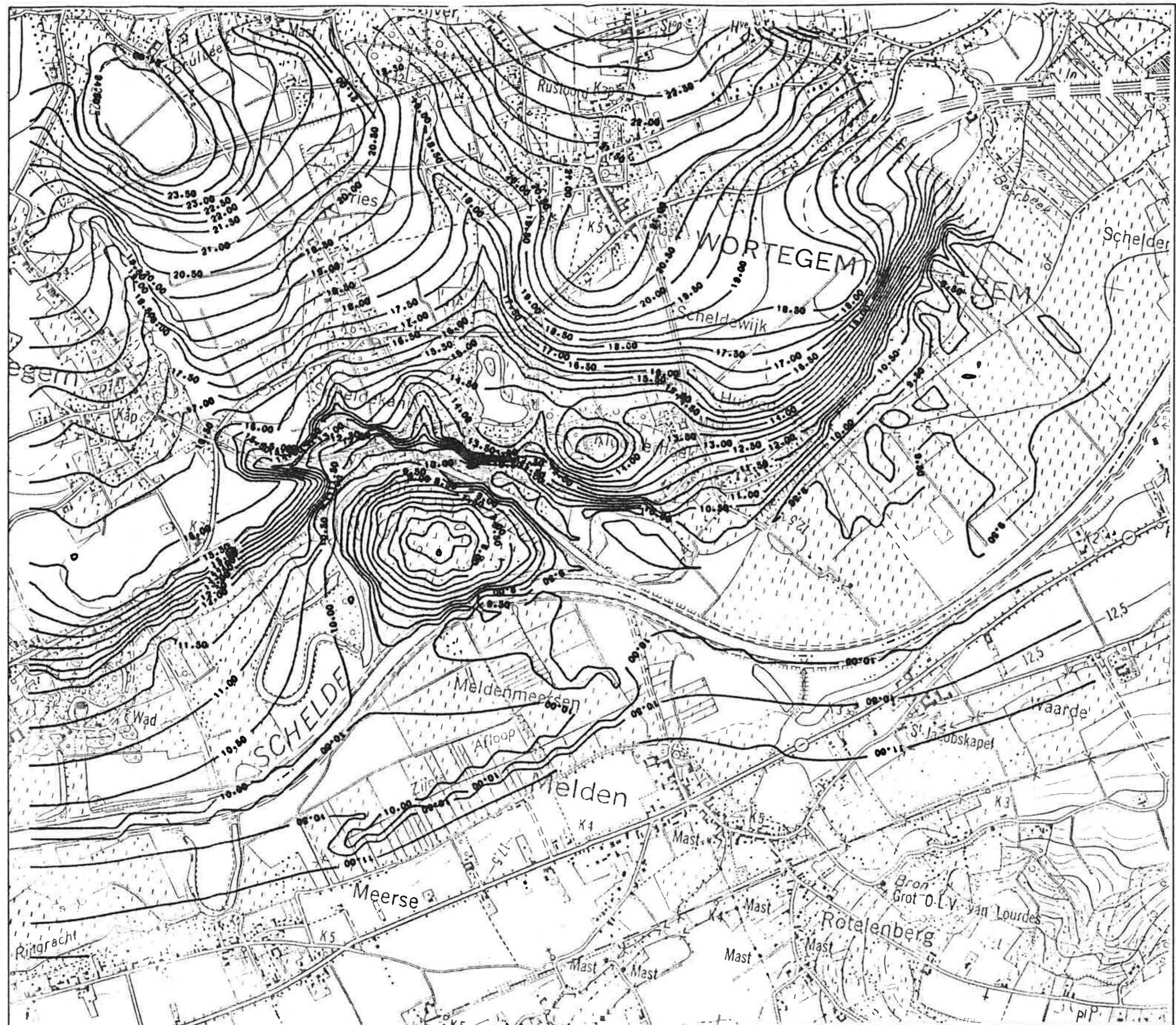
PLAAT 7: TOESTAND BIJ WINNING VAN 4000 M<sup>3</sup>/DAG

LAAG 1

ISOLIJNEN

LIJNEN OM DE 0.50 METER





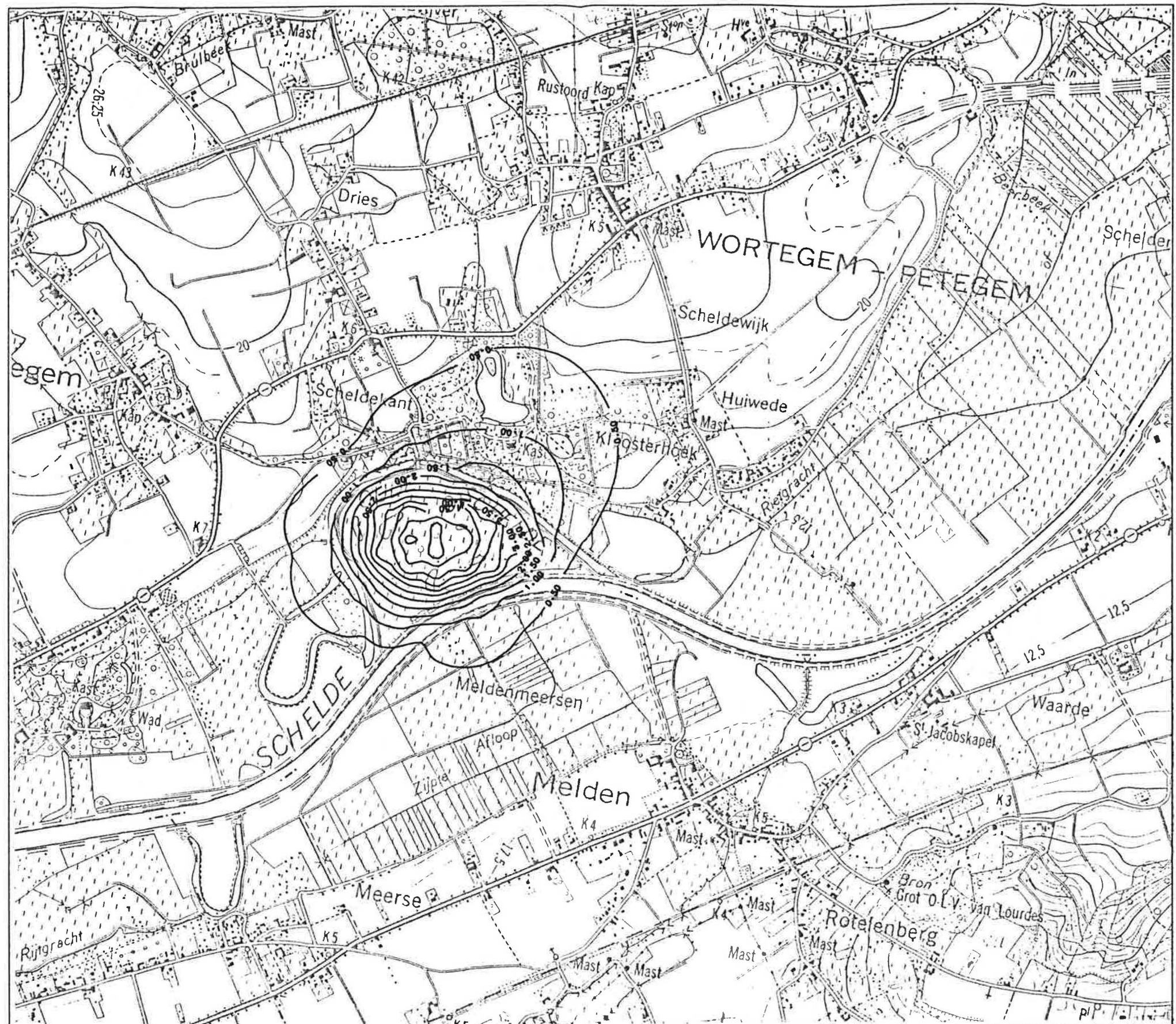
PLAAT 8: TOESTAND BIJ WINNING VAN 4000 M<sup>3</sup>/DAG

LAAG 2

ISOLIJNEN

LIJNEN OM DE 0.50 METER





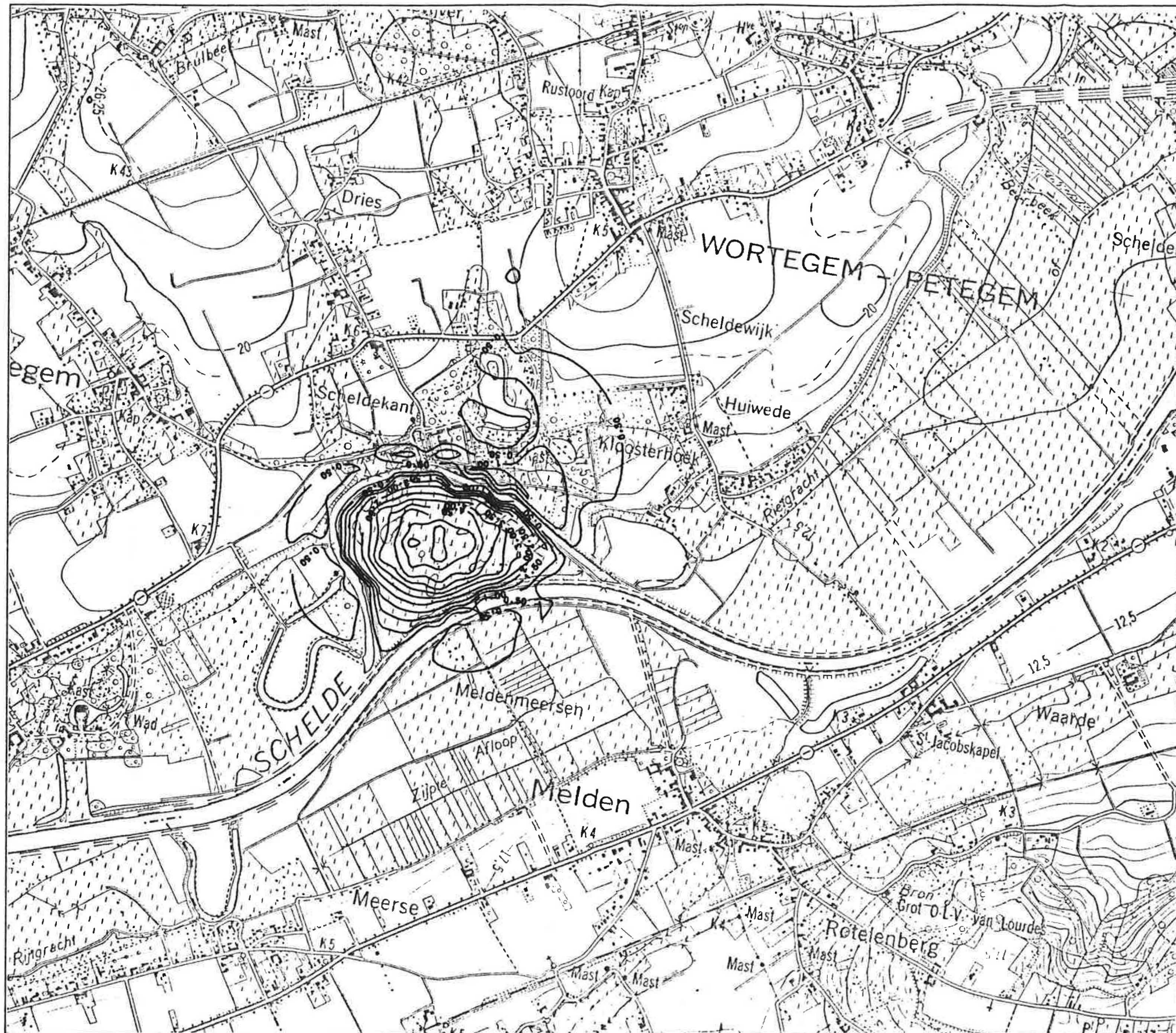
PLAAT 9: VERLAGING IN LAAG 1 BIJ WINNING VAN 4000 M<sup>3</sup>/DAG

LAAG 1-LAAG 1

ISOLIJNEN

LIJNEN OM DE 0.50 METER





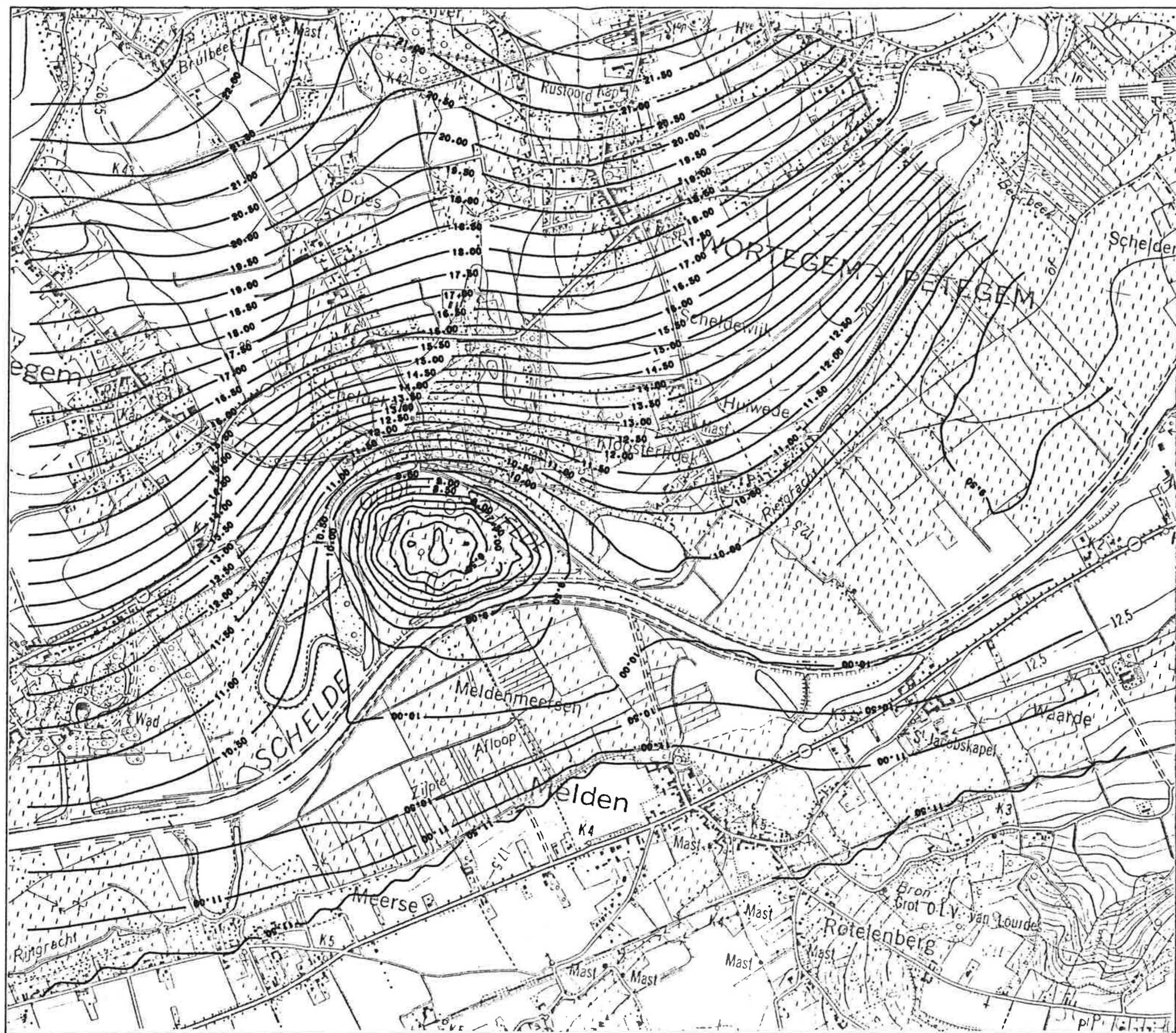
PLAAT 10: VERLAGING WATERTAFEL BIJ WINNING VAN 4000 M<sup>3</sup>/DAG

LAAG 2-LAAG 2

ISOLIJNEN

LIJNEN OM DE 0.50 METER





PLAAT 11: TOESTAND BIJ WINNING VAN 3500 M3/DAG

LAAG 1

1 SOL 1 JNEN

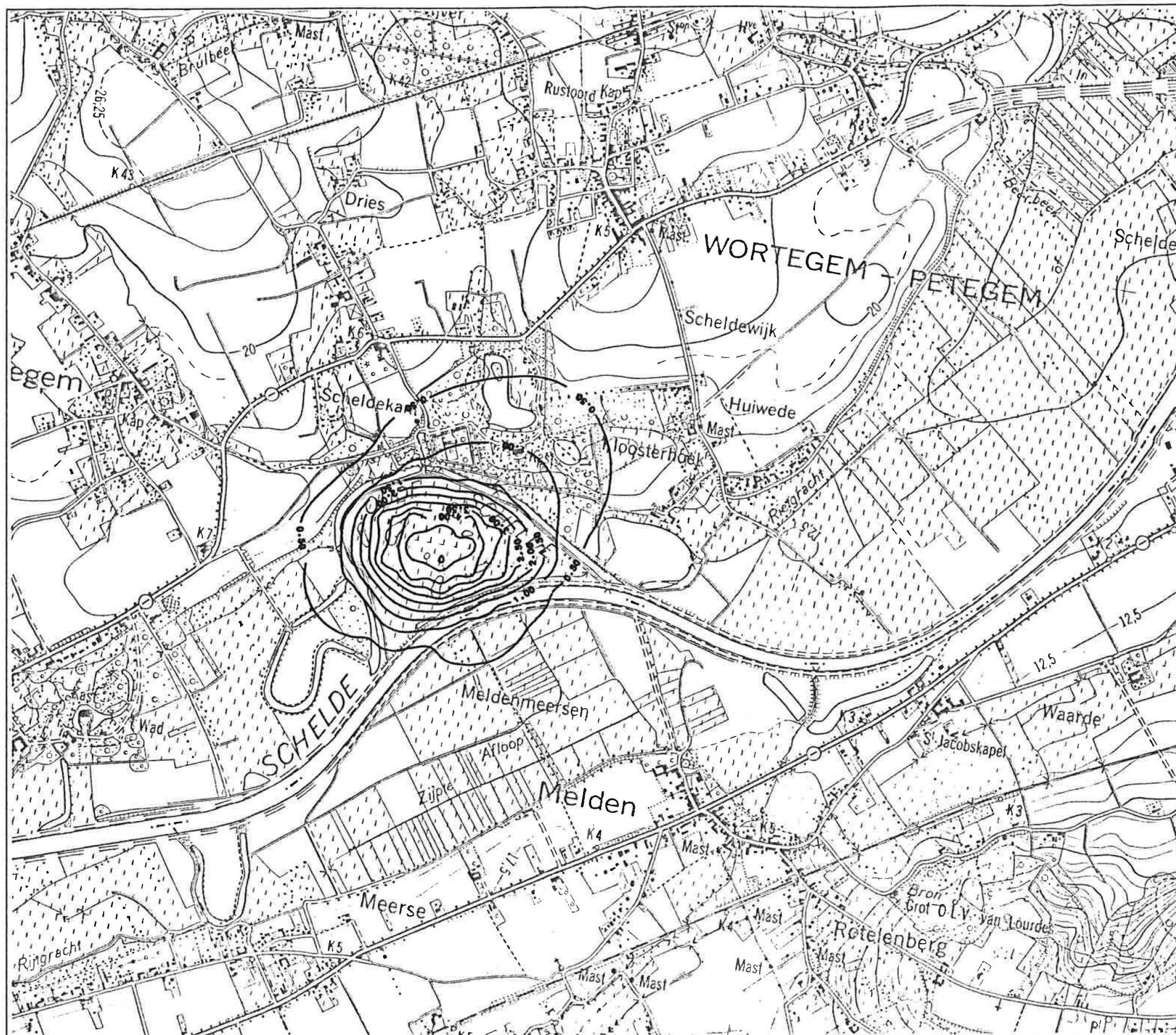
LIJNEN OM DE 0.50 METER



LAAG 2

LIJNEN OM DE 0.50 METER





PLAAT 13: VERLAGING IN LAAG 1 BIJ WINNING VAN 3500 M<sup>3</sup>/DAG

LAAG 1-LAAG 1

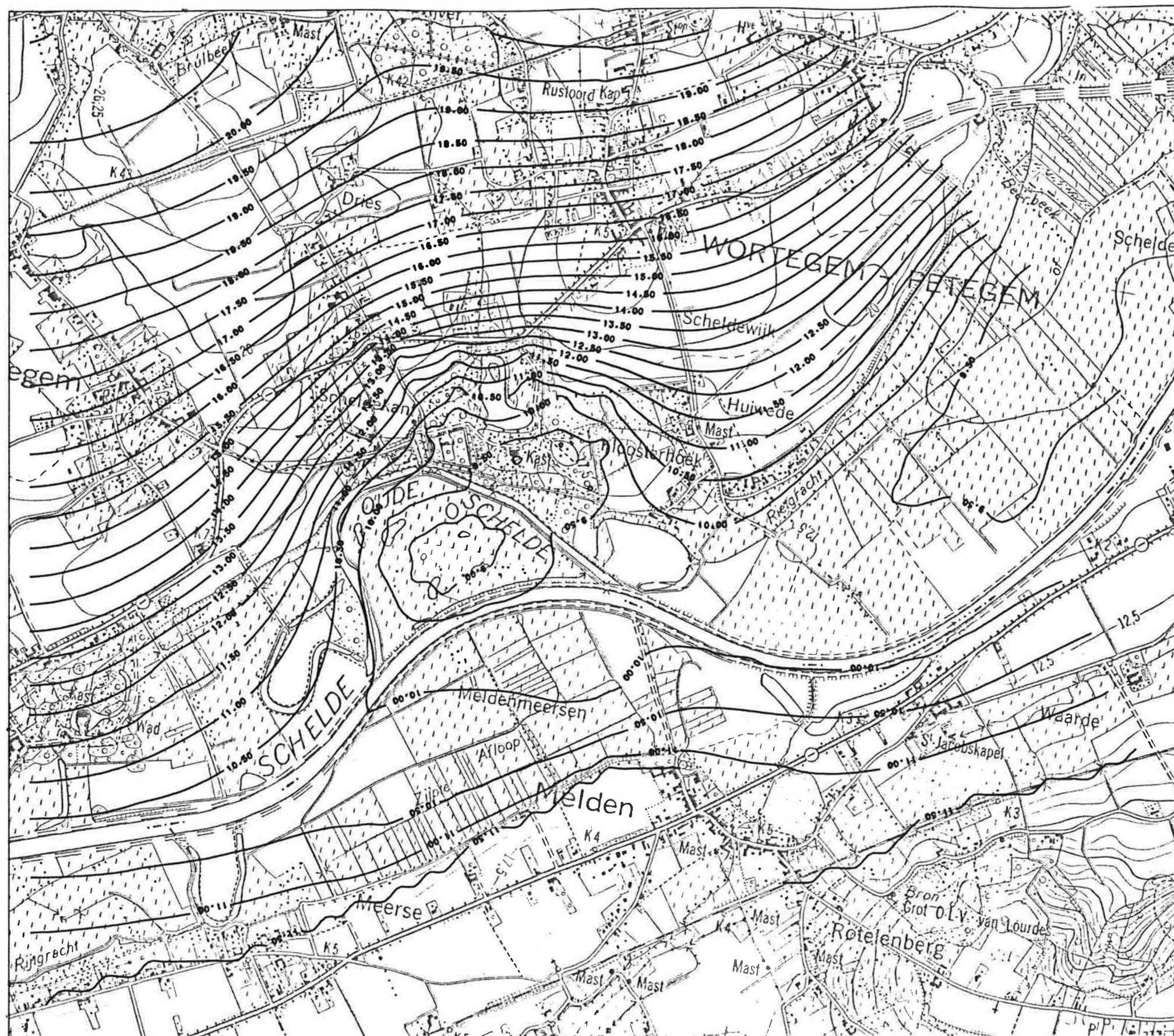
ISOLIJNEN

LIJNEN OM DE 0.50 METER



|               |                         |
|---------------|-------------------------|
| LAAG 2-LAAG 2 | ISOLIJNEN               |
|               | LIJNEN OM DE 0.50 METER |





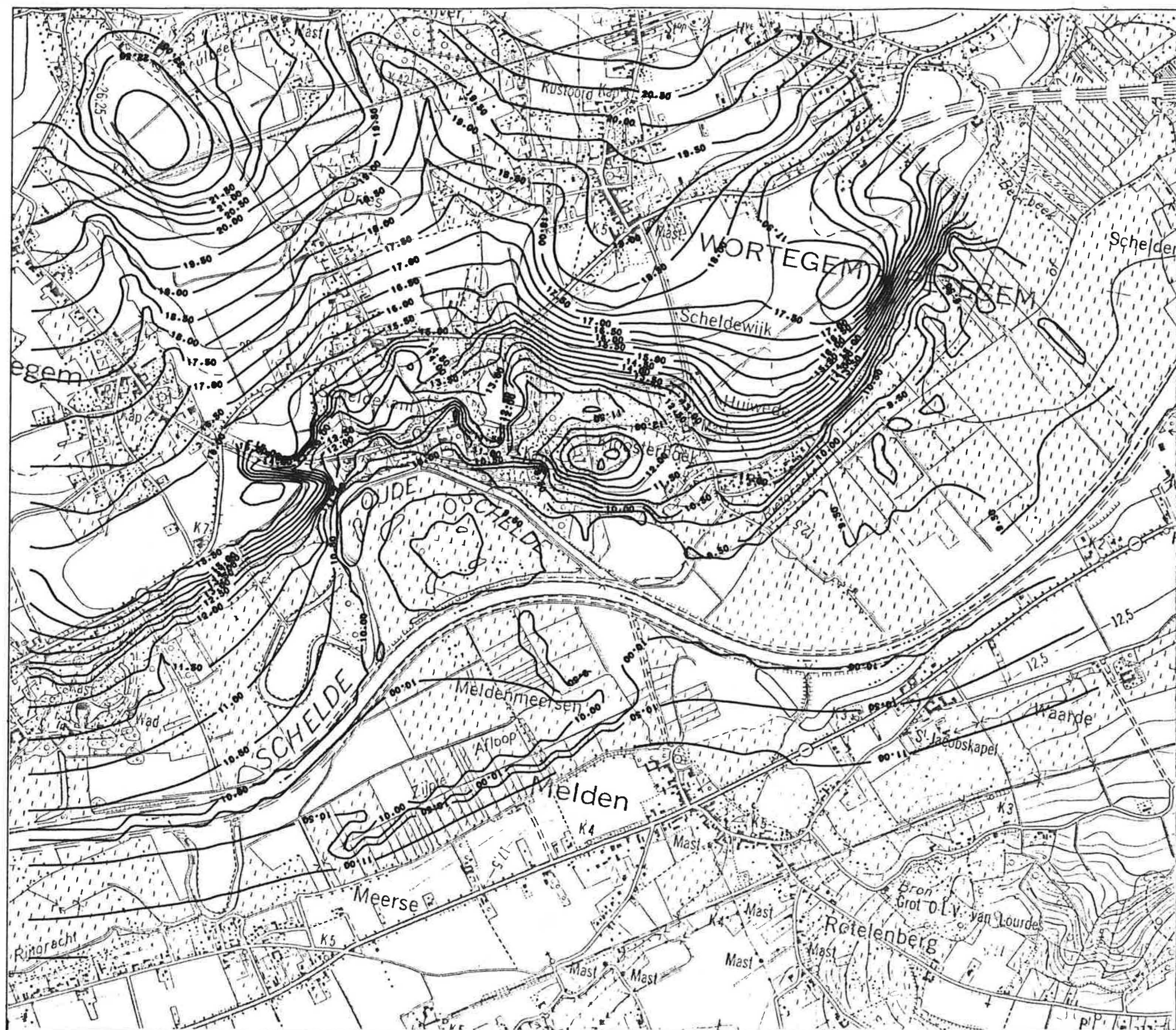
PLAAT 15: TOESTAND BIJ WINNING VAN 1000 + 2000 M3/DAG

LAAG 1

ISOLIJNEN

LIJNEN OM DE 0.50 METER





PLAAT 16: TOESTAND MET WINNING VAN 1000 + 2000 M3/DAG

LAAG 2

ISOLIJNEN

LIJNEN OM DE 0.50 METER

De verlagingen zijn voorgesteld op PLATEN 17 en 18.

In de laag KZ komen verlagingen voor tot ca. 4.0 m (waar 2000 m<sup>3</sup>/d wordt opgepompt) en tot ca. 1,5 m ter hoogte van het golfterrein. Gelijkaardige verlagingen van de watertafel zouden optreden.

#### 3.6.7. Toestand met winning van 2000 m<sup>3</sup>/d volgens de derde puttenconfiguratie

Op PLAAT 19 en 20 staan de berekende stijghoogten in laag 1 en 2 bij winning van 2000 m<sup>3</sup>/d. Hierbij wordt enkel gepompt op de putten ten noorden van de oude Scheldearm.

De verlagingen zijn voorgesteld op PLATEN 21 en 22.

In de laag KZ komen verlagingen voor tot meer dan 4.0 m ter hoogte van de winningsputten. Verlagingen van de watertafel zouden ook ongeveer even groot zijn. Ter hoogte van het golfterrein is geen noemenswaardige verlaging van de watertafel te verwachten.

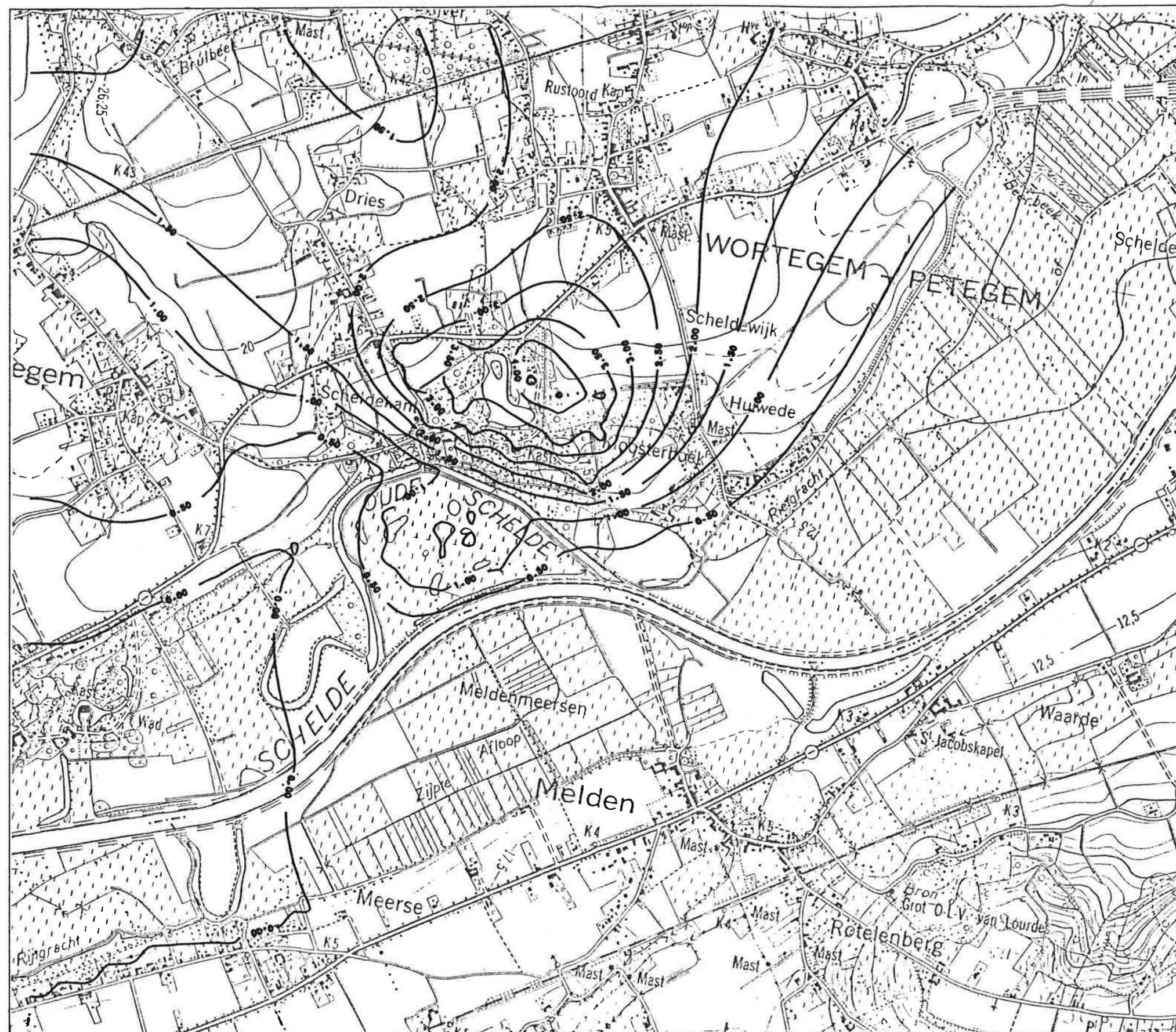
#### 3.6.8. Toestand met winning van 3000 m<sup>3</sup>/d volgens de derde puttenconfiguratie

Op PLAAT 23 en 24 staan de berekende stijghoogte in laag 1 en 2 bij winning van 3000 m<sup>3</sup>/d waarbij enkel gepompt wordt op de putten ten noorden van de oude Scheldearm.

De verlagingen zijn voorgesteld op PLATEN 25 en 26.

In de laag KZ komen verlagingen voor tot meer dan 6.5 m ter hoogte van de winningsputten. Verlagingen van de watertafel zouden ongeveer even groot zijn. Ter hoogte van het golfterrein is geen noemenswaardige verlaging van de watertafel te verwachten.





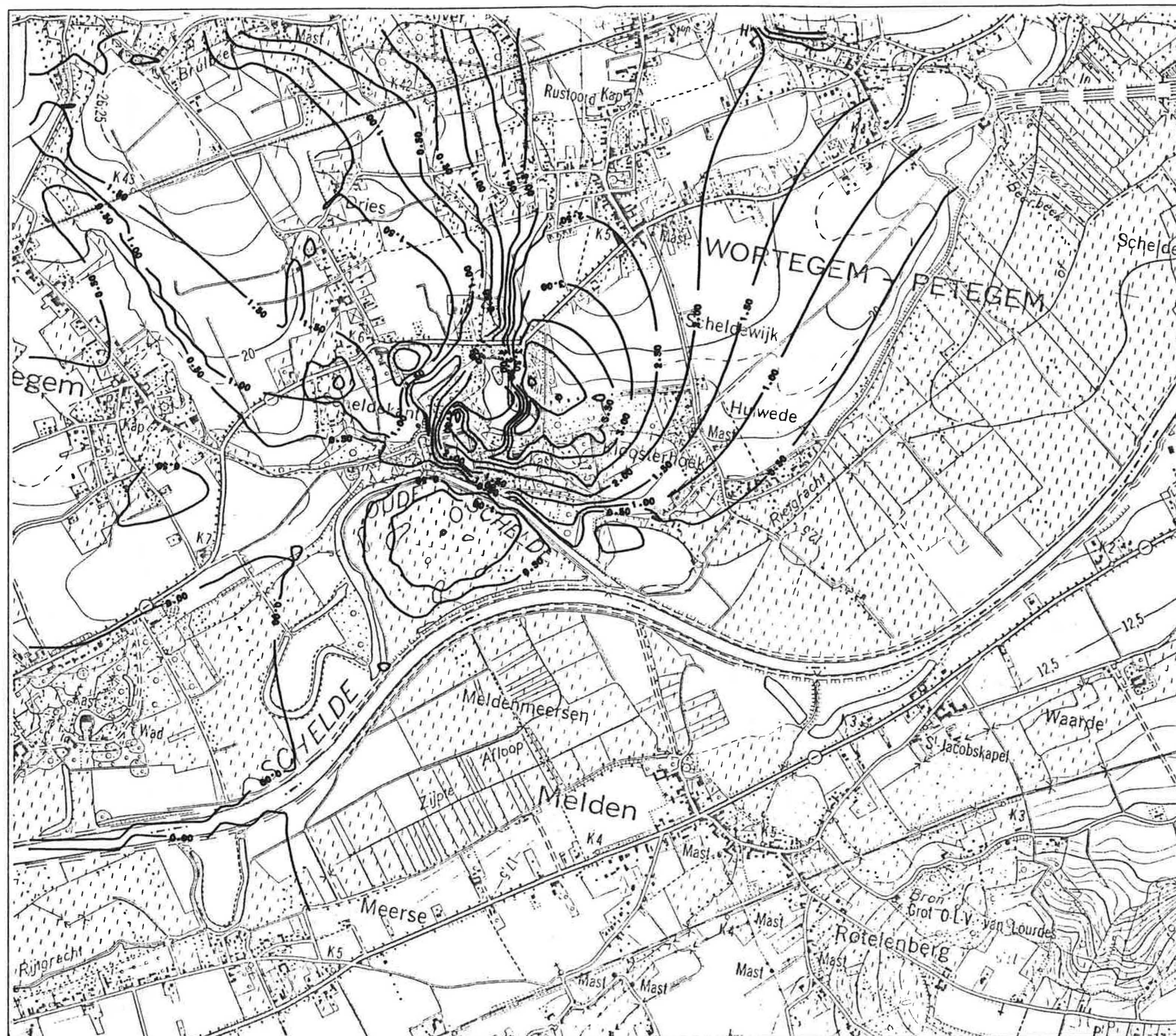
PLAAT 17: VERLAGING IN LAAG 1 BIJ WINNING VAN 1000 + 2000 M<sup>3</sup>/DAG

LAAG 1-LAAG 1

ISOLIJNEN

LIJNEN OM DE 0.50 METER





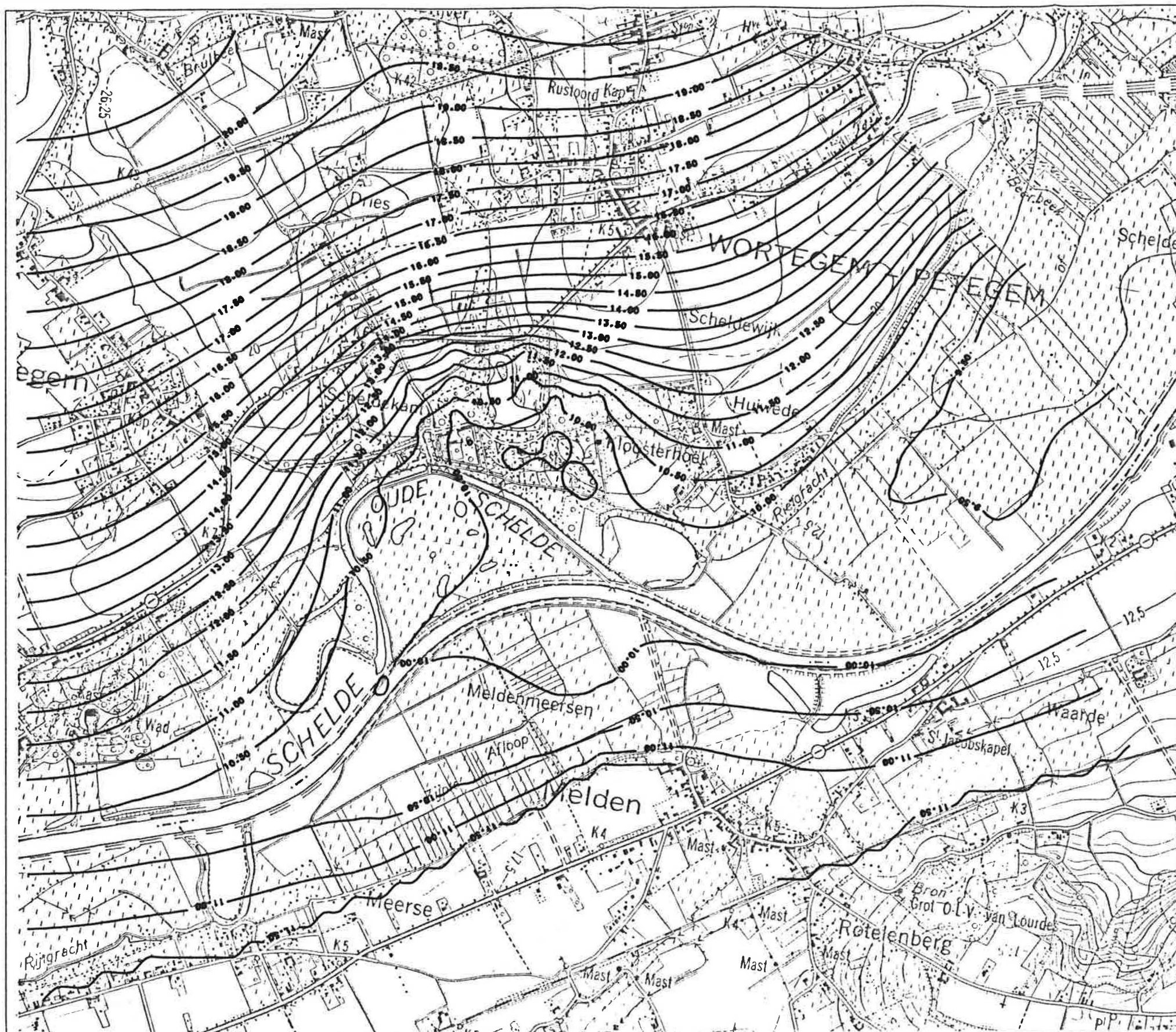
PLAAT 18: VERLAGING WATERTAFEL BIJ WINNING VAN 1000 + 2000 M<sup>3</sup>/DAG

LAAG 2-LAAG 2

ISOLIJNEN

LIJNEN OM DE 0.50 METER





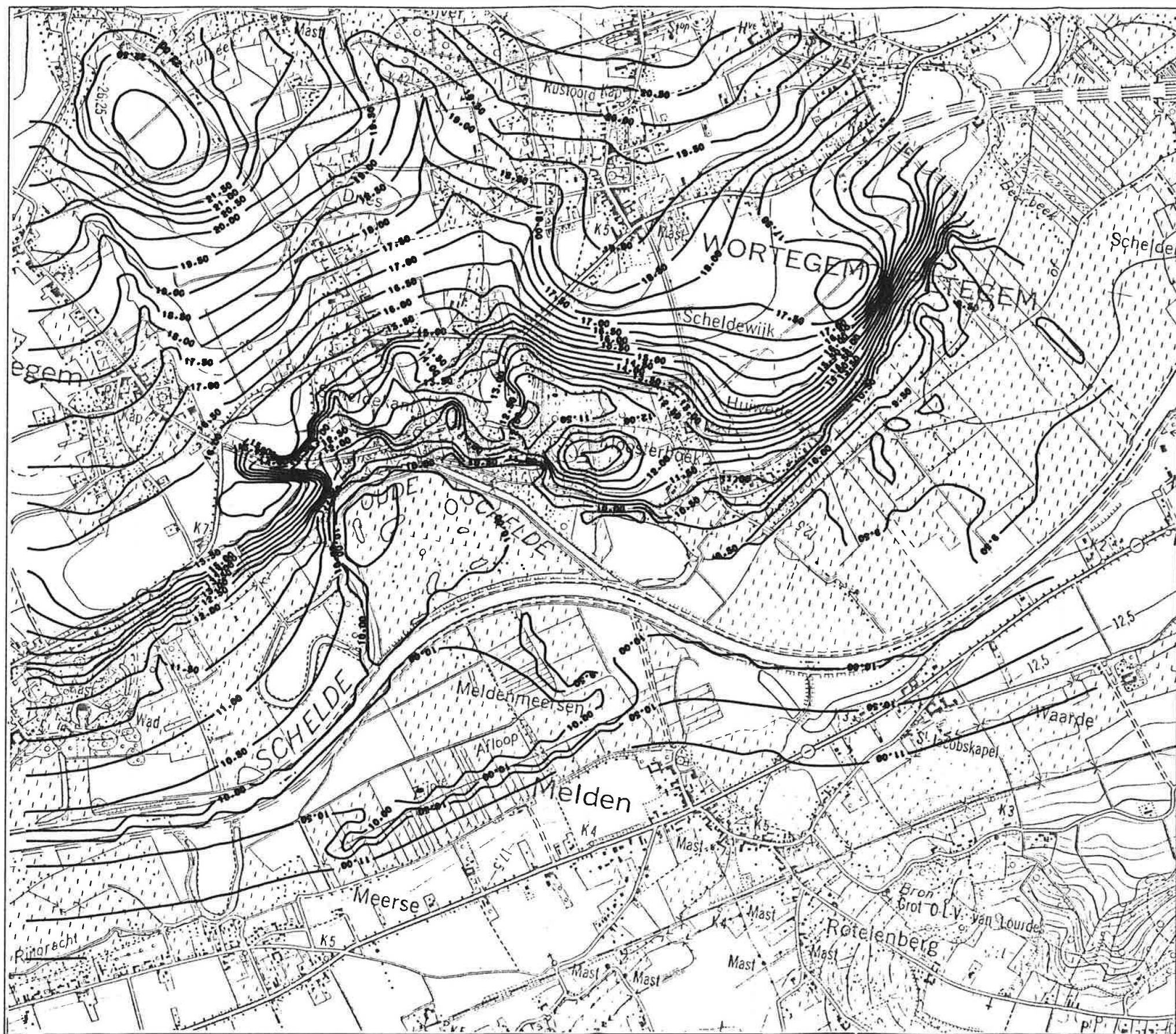
PLAAT 19: TOESTAND BIJ WINNING VAN 2000 M3/DAG

LAAG 1

1 SOL 1 JNEN

LIJNEN OM DE 0.50 METER





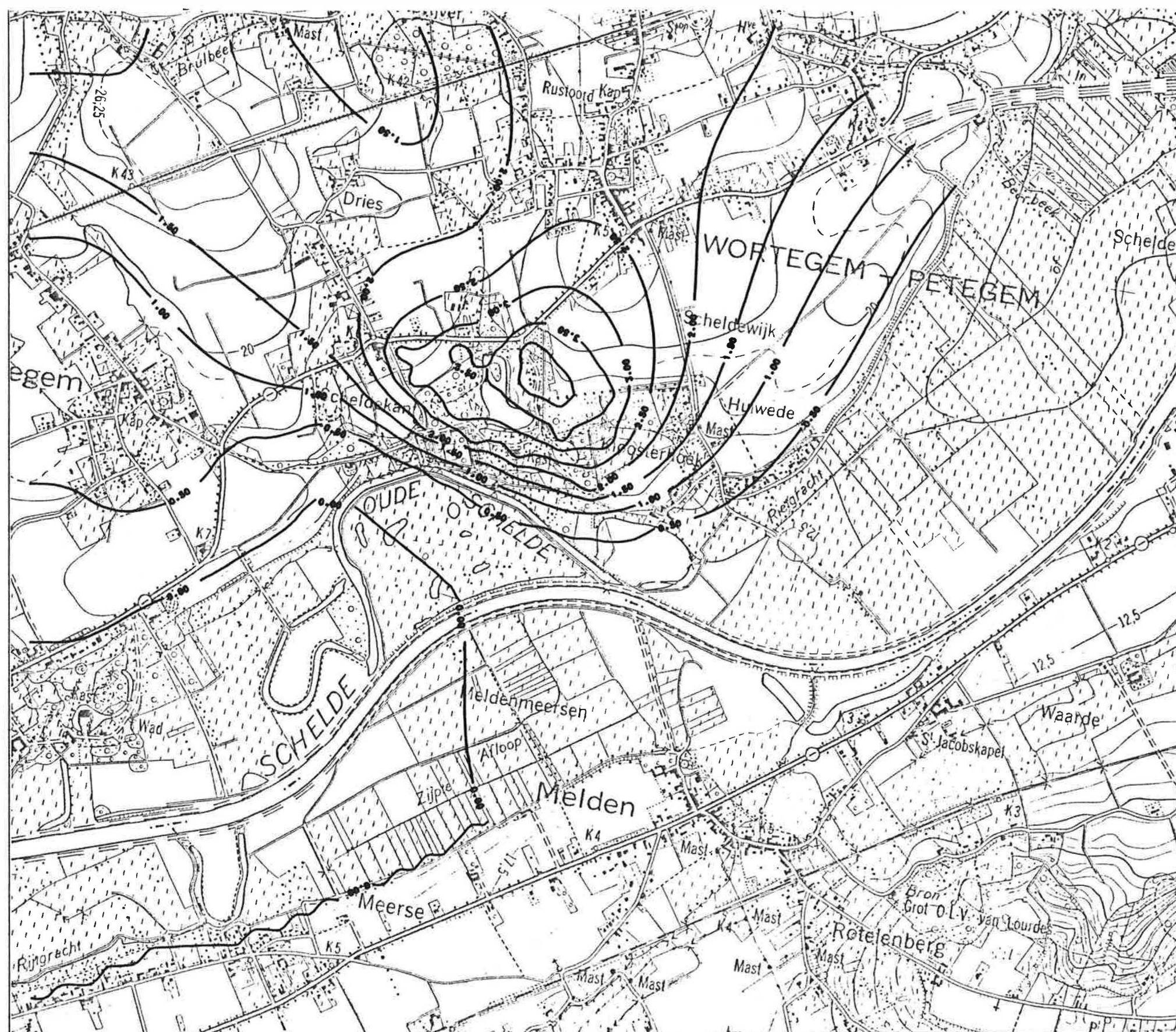
PLAAT 20: TOESTAND MET WINNING VAN 2000 M3/DAG

LAAG 2

1 SOL 1 JNEN

LIJNEN OM DE 0.50 METER





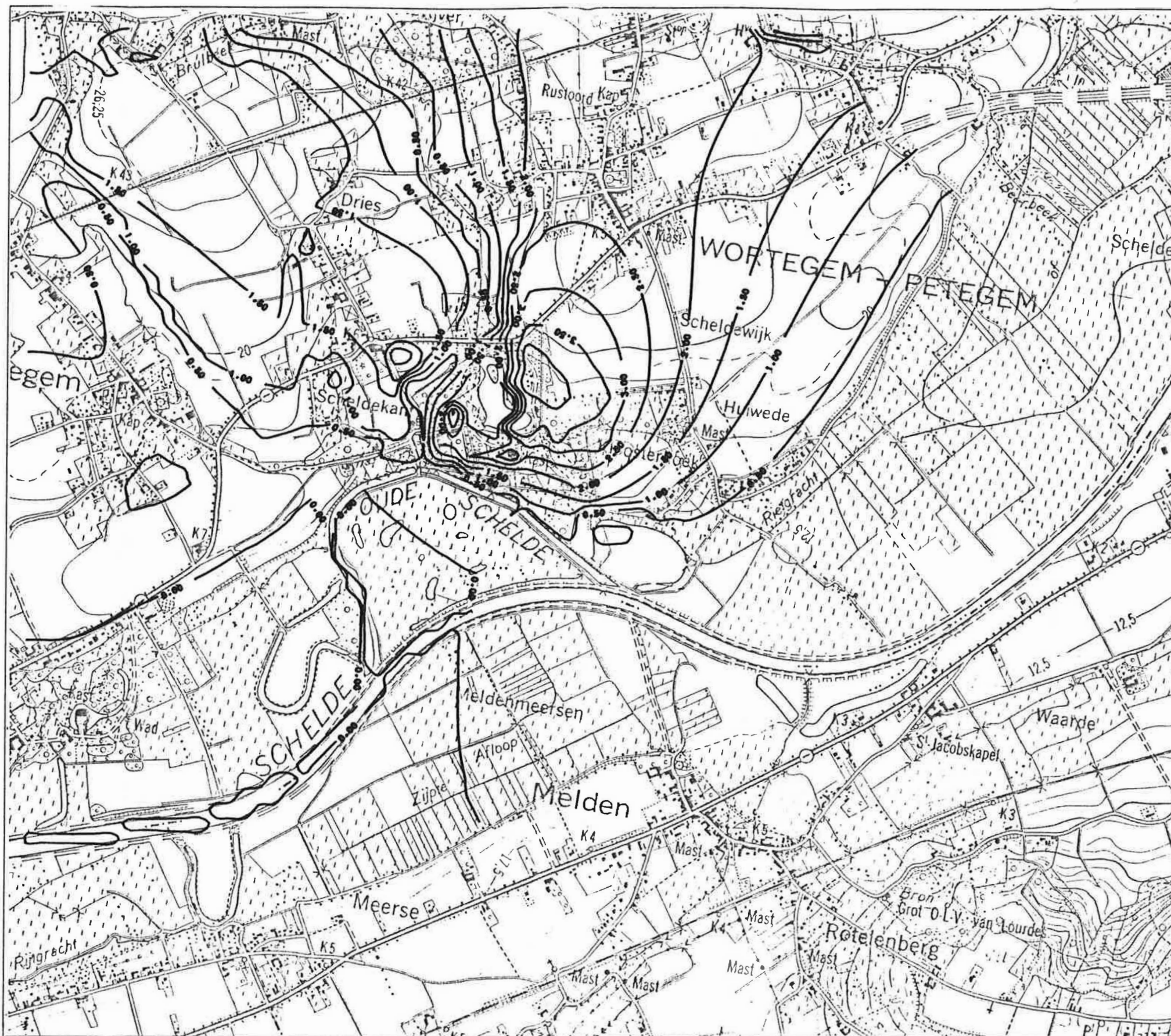
PLAAT 21: VERLAGING IN LAAG 1 BIJ WINNING VAN 2000 M<sup>3</sup>/DAG

LAAG 1-LAAG 1

ISOLIJNEN

LIJNEN OM DE 0.50 METER





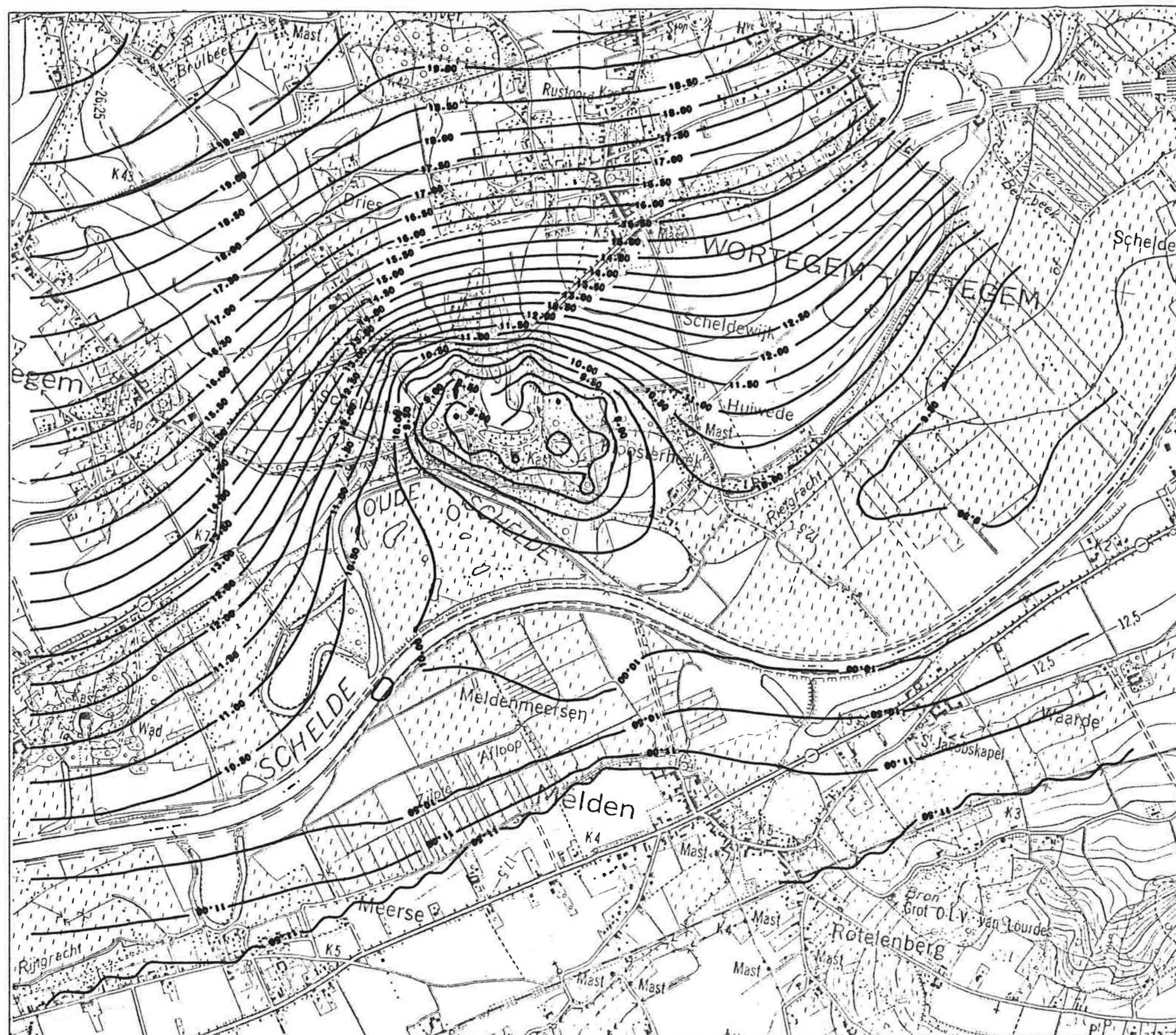
PLAAT 22: VERLAGING WATERTAFEL BIJ WINNING 2000 M3/DAG

LAAG 2-LAAG 2

ISOLIJNEN

LIJNEN OM DE 0.50 METER





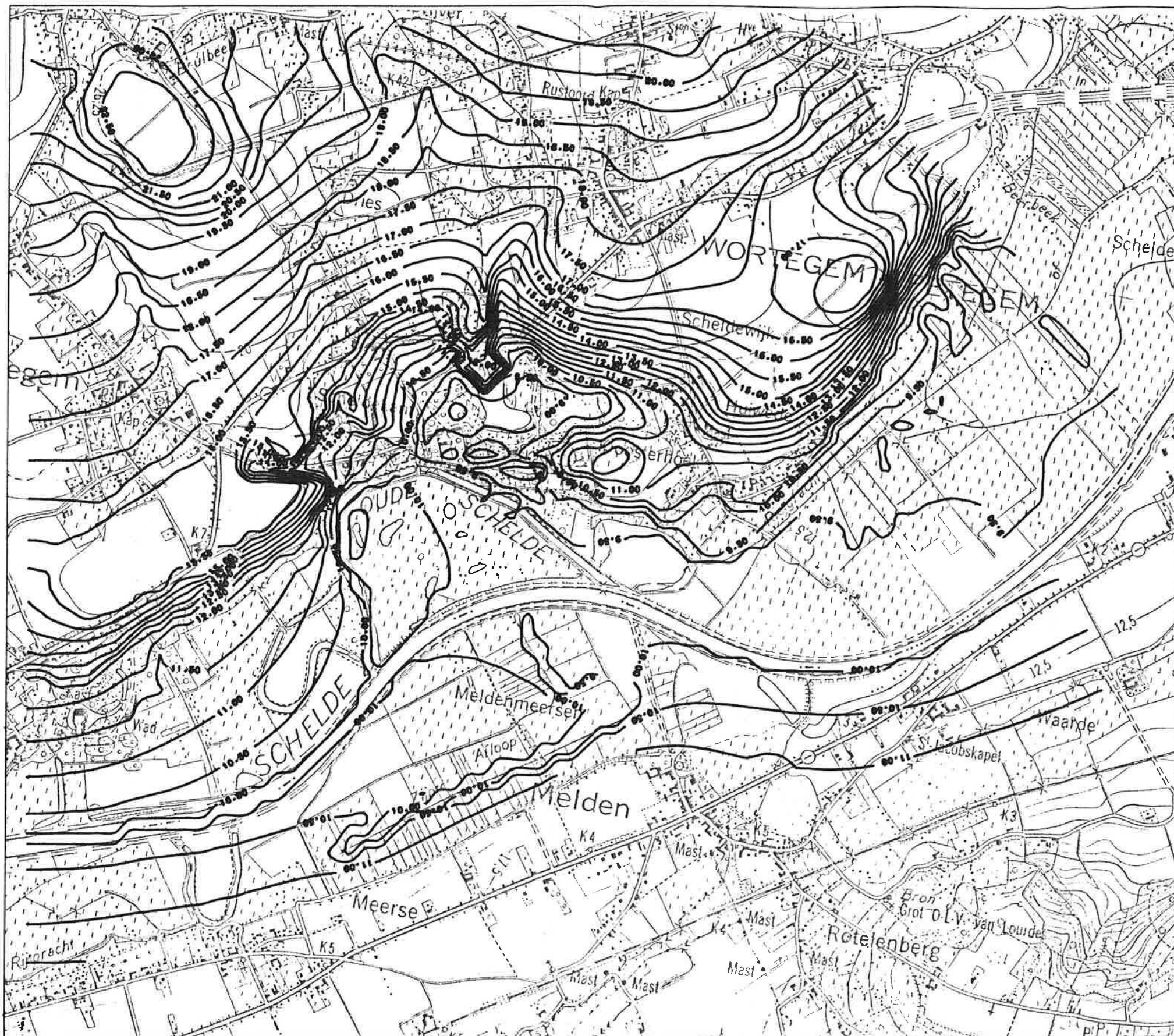
PLAAT 23: TOESTAND BIJ WINNING VAN 3000 M3/DAG

LAAG 1

ISOLIJNEN

LIJNEN OM DE 0.50 METER





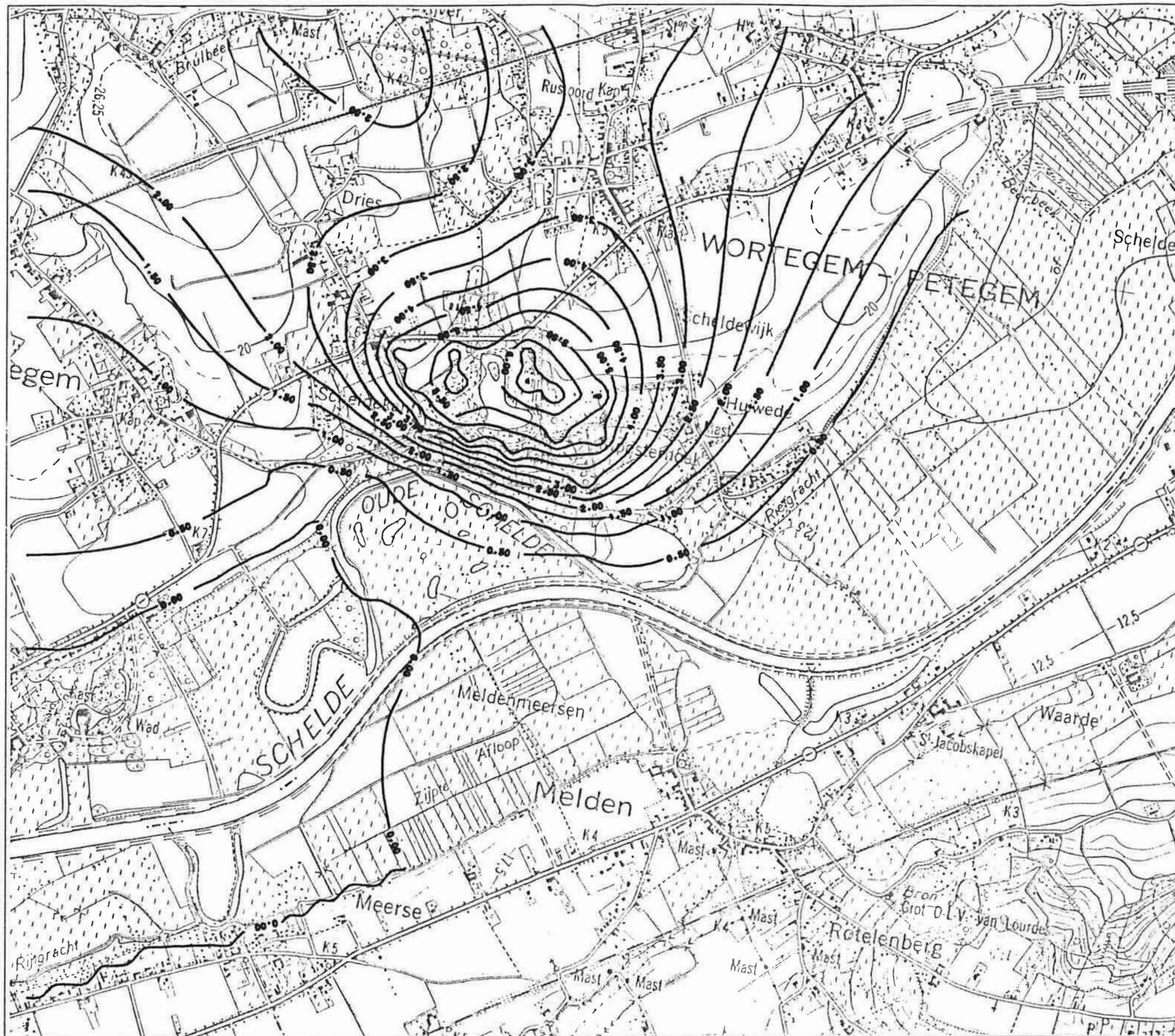
PLAAT 24: TOESTAND MET WINNING VAN 3000 M<sup>3</sup>/DAG

LAAG 2

ISOLIJNEN

LIJNEN OM DE 0.50 METER





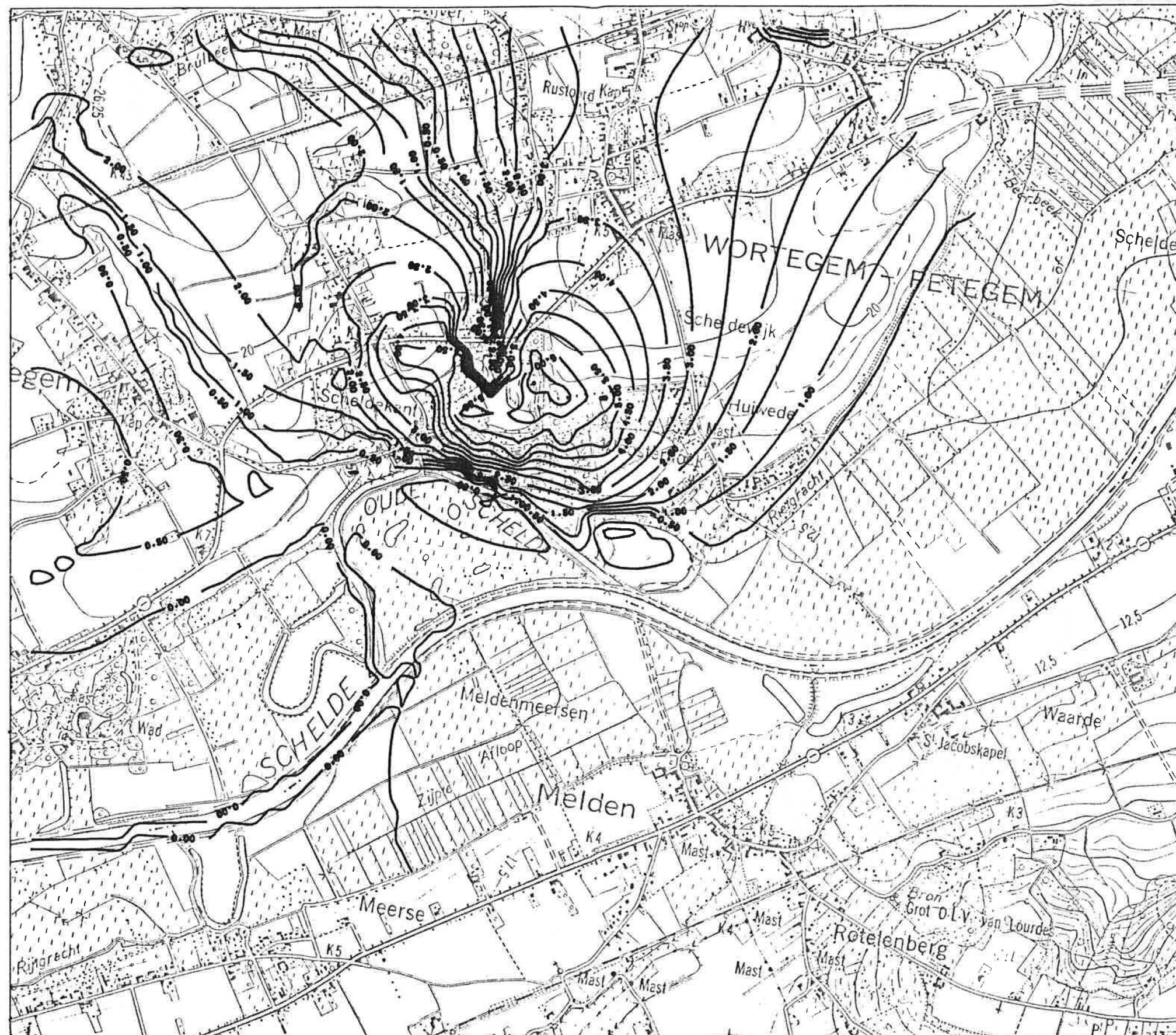
PLAAT 25: VERLAGING IN LAAG 1 BIJ WINNING VAN 3000 M<sup>3</sup>/DAG

LAAG 1-LAAG 1

ISOLIJNEN

LIJNEN OM DE 0.50 METER





PLAAT 26: VERLAGING WATERTAFEL BIJ WINNING 3000 M<sup>3</sup>/DAG

LAAG 2-LAAG 2

ISOLIJNEN

LIJNEN OM DE 0.50 METER

## 4. KWALITEITSMODEL

### 4.1. Ligging van de modeldoorsnede

De doorsnede is 1650 m lang en loopt van Melden in het zuidoosten over de Scheldemeersen, de Schelde en de oude Schelde-arm tot aan de wijk Scheldekant.

Het netwerk bestaat uit 66 kolommen en 24 rijen. Hiervan worden de buitenste rijen en kolommen in het model niet berekend. Elke cel is 25 m lang en heeft een dikte van 1 m.

De ligging van de modeldoorsnede is aangeduid op fig. 13.

Door de ligging van de modeldoorsnede kon het kwaliteitsmodel enkel gebruikt worden om de invloed van de Schelde en de oude Schelde-arm na te gaan bij een winning binnen de oude Schelde-arm (eerste winningsputtenkonfiguratie).

### 4.2. Aangewend mathematisch model

In deze studie werd gebruik gemaakt van het twee-dimensioneel kwaliteitsmodel van L.F. KONIKOW & J.D. BREDEHOEFT (1978). Het simulatieprogramma werd gekoppeld aan een grafisch outputprogramma dat toelaat de berekende grondwaterstijghoogten, snelheden en concentraties voor te stellen.

Het numeriek model simuleert het transport van opgeloste stoffen in een grondwaterreservoir. Het berekent de opeenvolgende concentratieveranderingen van een chemisch inerte opgeloste stof. Het programma lost gelijktijdig twee partiële differentiaalvergelijkingen op. Het zijn de grondwaterstromingsvergelijking, waarbij rekening wordt gehouden met de dichtheidsverdeling en de vergelijking die het transport van opgeloste stoffen weergeeft. Het numeriek model gebruikt daartoe een modelnetwerk. De cellen van het netwerk zijn



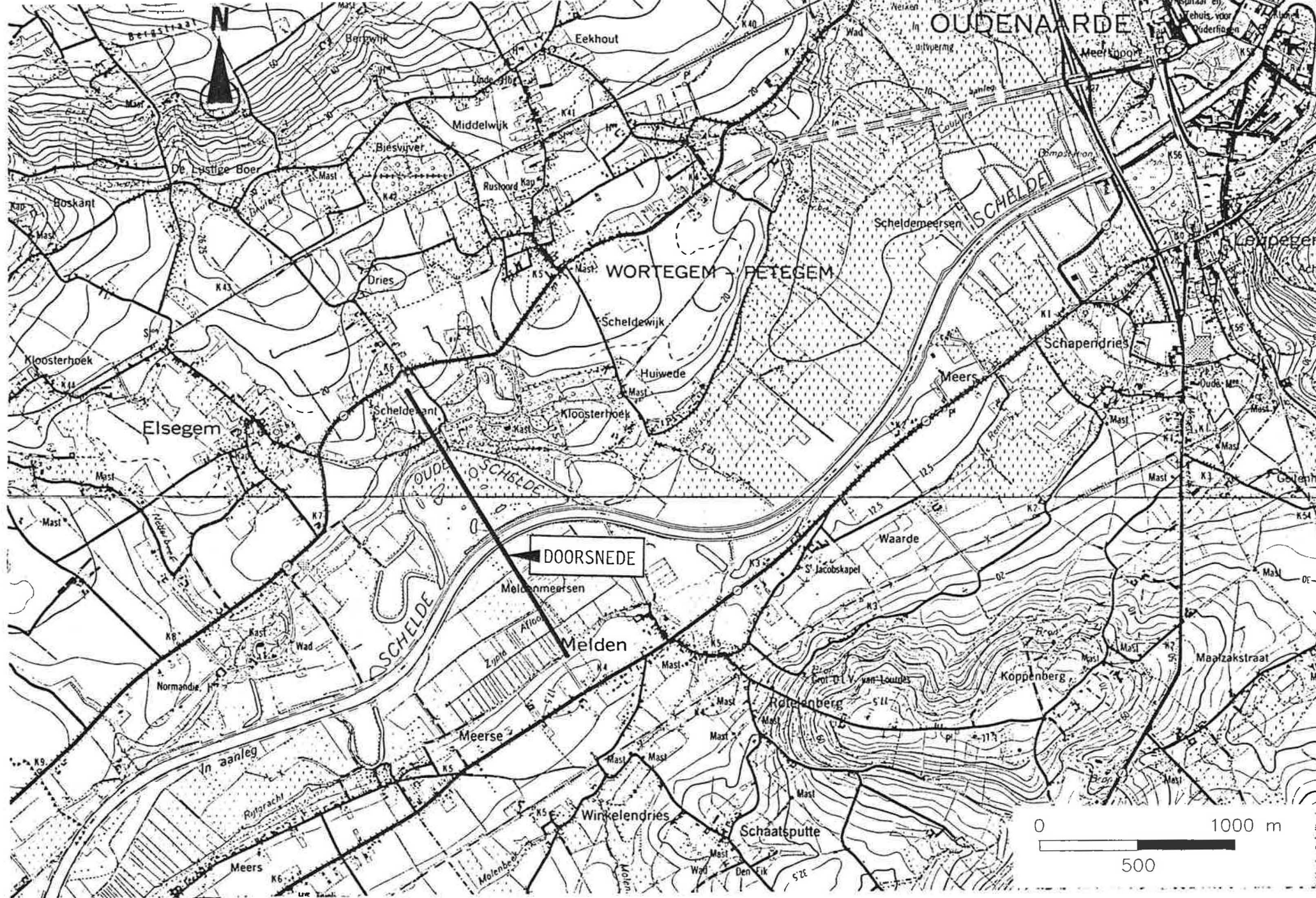


Fig.13 - Ligging van de verticale doorsnede

rechthoekig en gerangschikt volgens een aantal kolommen en rijen. De geometrie en afmetingen van het netwerk worden aangepast aan het studiegebied. De eerste en laatste kolom en rij kunnen niet tot het studiegebied behoren. In alle andere cellen berekent het numeriek model de stijghoogte en de concentratie.

De grondwaterstromingsvergelijking wordt afgeleid van de uitgebreide wet van DARCY, waarin de dichtheidsverschillen verwerkt zijn, en van de koninuiteitswet. De opgeloste stoffentransportvergelijking wordt opgelost met de methode van de karakteristieken. Het mathematisch model combineert beide vergelijkingen en houdt daarbij rekening met :

- dichtheidsveranderingen
- konvektief transport
- hydrodynamische dispersie.

De berekeningen geschieden volgens de techniek gekend als "particle tracking". Hierbij volgt men de beweging van een groot aantal waterdeeltjes doorheen het reservoir.

Bij de berekeningen wordt de aanwezigheid van twee primaire waters verondersteld. Het eerste primaire water is het regenwater dat buiten de Schelde door de onverzadigde zone percoleert (dat is normaal infiltratiewater). Het tweede primaire water is 100 % Scheldewater of water uit de oude Scheldearm. Het grondwaterreservoir is aanvankelijk volledig gevuld met normaal infiltratiewater. Teneinde de beweging van de deeltjes in het model te kunnen nagaan dient de werkelijke doorsijpelingssnelheid gekend te zijn. Deze is afhankelijk van de waterdoorlatende porositeit. De menging van de twee primaire waters bij stroming door de ondergrond is afhankelijk van de longitudinale ( $d_L$ ) en de transversale dispersiviteit ( $d_T$ ).

Elke simulatie is ingedeeld in een aantal opeenvolgende tijd-



stappen van gelijke lengte. Tijdens elke tijdstap voert het model een reeks bewegingen van de deeltjes in het netwerk uit. Uitgaande van de nieuwe posities van de deeltjes worden nieuwe concentraties berekend. Bij de berekeningen wordt na elke tijdstap een nieuwe stijghoogtekonfiguratie berekend, waarbij rekening wordt gehouden met de nieuwe dichtheidsverdeling van de verschillende waters. Hierbij wordt aangenomen dat de dichtheid lineair verandert met de concentratie.

Per tijdstap kunnen de resultaten voorgesteld worden in figuren waarin de stijghoogten, de grondwatersnelheden en de mengingsgraad van de twee primaire waters aangeduid zijn. Bij het vertikaal model stelt de figuur een verticale doorsnede doorheen het grondwaterreservoir voor. De verticale as geeft de diepte aan, de horizontale de afstand langs het profiel.

De berekende stijghoogten zijn voorgesteld met equipotentiaallijnen. Ze worden bekomen door een bilineaire interpolatie tussen de stijghoogten in de centra van de cellen. Alle figuren in deze studie hebben een stijghoogteinterval van 0.20 m.

De grondwatersnelheid wordt weergegeven door een vektor. Bij een vertikaal model wordt deze afgeleid uit de horizontale en verticale snelheidskomponent. De lengte van deze componenten wordt bepaald door de snelheid te vermenigvuldigen met een tijdsduur, hier gelijkgesteld aan één jaar (365.25 dagen).

De mengingsgraad van de twee primaire waters wordt aangegeven door lijnen van gelijke vermenging, verkregen door bilineaire interpolatie tussen de waarden in de centra van de cellen. De vermenging wordt uitgedrukt in percentage stortporiënwater. De getekende lijnen korresponderen met 99, 95, 84, 50, 16, 5 en 1 %.

#### 4.3. Ingevoerde gegevens

De hydrolitologische bouw in de doorsnede werd afgeleid uit de gegevens van de boringen SB3, SB8, SB1 en SB2. De ingevoerde hydraulische doorlatendheden zijn voorgesteld op fig. 14. Voor de laag KZ werd een horizontale doorlatendheid van 9.4 m/d ingevoerd. Deze werd gevonden uit de pompproef. Voor het alluvium werd een doorlatendheid ingevoerd die overeenkomt met een hydraulische weerstand van 107.75 d, een representatieve waarde die werd afgeleid uit de resultaten van pompproeven die op diverse plaatsen in de Scheldevallei werden uitgevoerd. De leemlaag in het noorden van de doorsnede heeft een doorlatendheid die overeenkomt met een hydraulische weerstand van 100 dagen per meter dikte. Deze weerstand werd gevonden door kalibratie van het kwasi-driedimensioneel stromingsmodel.

Bovenop de doorsnede valt een nuttige neerslag van 270 mm per jaar.

De Schelde en de oude Scheldearm werden als vaste stijghoogten (respectievelijk 9.83 en 9.92 m) in het model opgenomen. De bedding van de Schelde bevindt zich in de laag KZ. De doorlatendheden werden aangepast zodat de Schelde een intree-weerstand van 25 dagen heeft. Er werd verondersteld dat de oude Scheldearm zich tot halfweg het alluvium bevindt. Bij de simulaties wordt aangenomen dat de oude Scheldearm op een konstant peil wordt gehouden.

De gracht die langs de Schelde loopt werd als een vaste stijghoogtecel ingevoerd in kolom 36 op peil + 9.5. Op de rechter Scheldeoever werd de Zijpte afloop in kolom 59 opgenomen als vaste stijghoogtecel op peil + 10.

Aan de noord en zuidgrens van het model werden vaste stijghoogten aangenomen. In de laag KZ werd aan de noordgrens 14.9

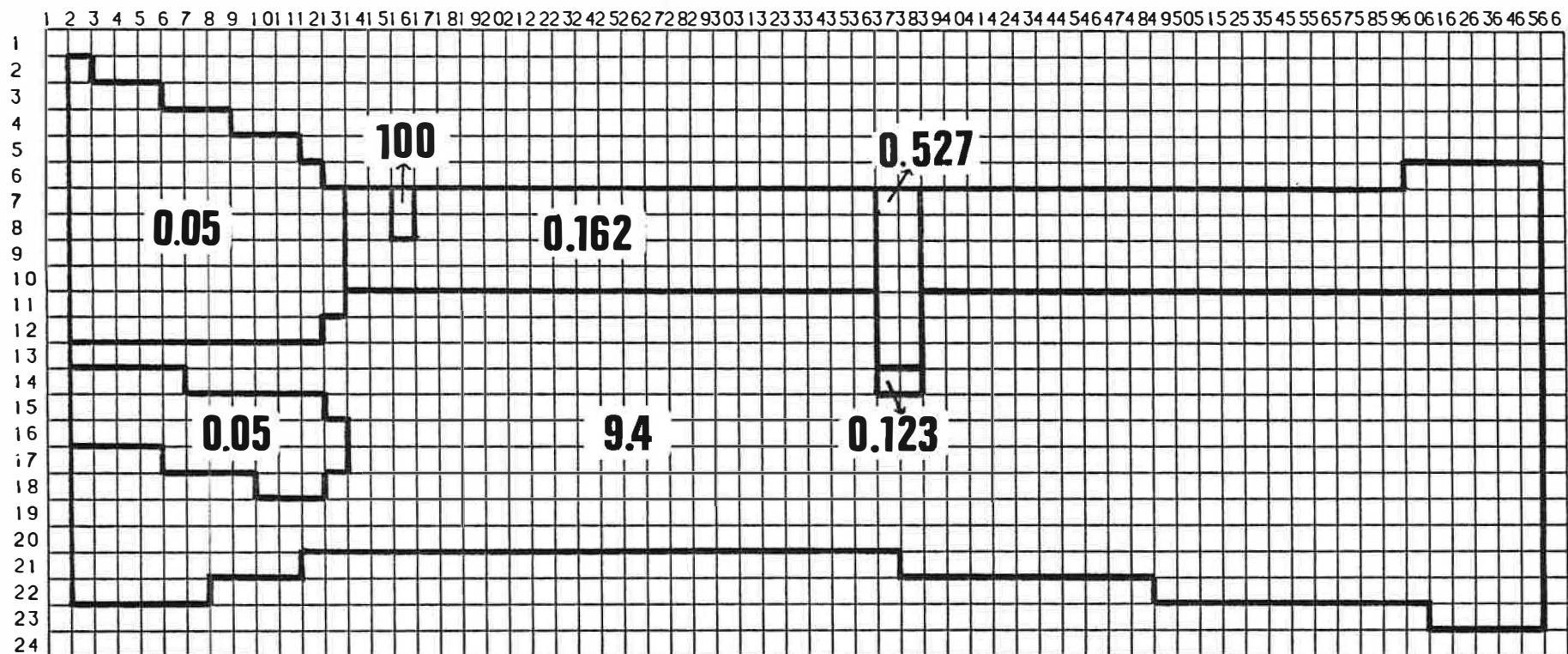


Fig.14 - Ingevoerde horizontale doorlatendheden in m/d in het vertikaal model

m ingevoerd. Deze waarde werd afgeleid uit de resultaten van de simulatie met het stromingsmodel van de winning van 4500 m<sup>3</sup>/d. De zuidgrens heeft een vaste stijghoogte van 11.5 m. Deze waarde werd geschat.

In de beschouwde doorsnede werden 4 pompputten opgenomen. Het zijn de winningsputten die volgens de configuratie van het stromingsmodel op of zeer dicht bij de modeldoorsnede gelegen zijn. De vier putten bevinden zich in kolommen 22, 25, 29 en 33 van het netwerk. Er wordt over de gehele dikte van de watervoerende laag KZ gepompt (van rij 11 tot en met 20 in het netwerk). Aangezien hier een tweedimensioneel model wordt toegepast werden de opgepompte hoeveelheden aangepast tot de berekende stijghoogten de stijghoogten berekend met het stromingsmodel benaderen. Er moest 4.5 m<sup>3</sup>/d per cel (= 45 m<sup>3</sup>/d per pompput) onttrokken worden om de gewenste stijghoogten te bekomen in de doorsnede.

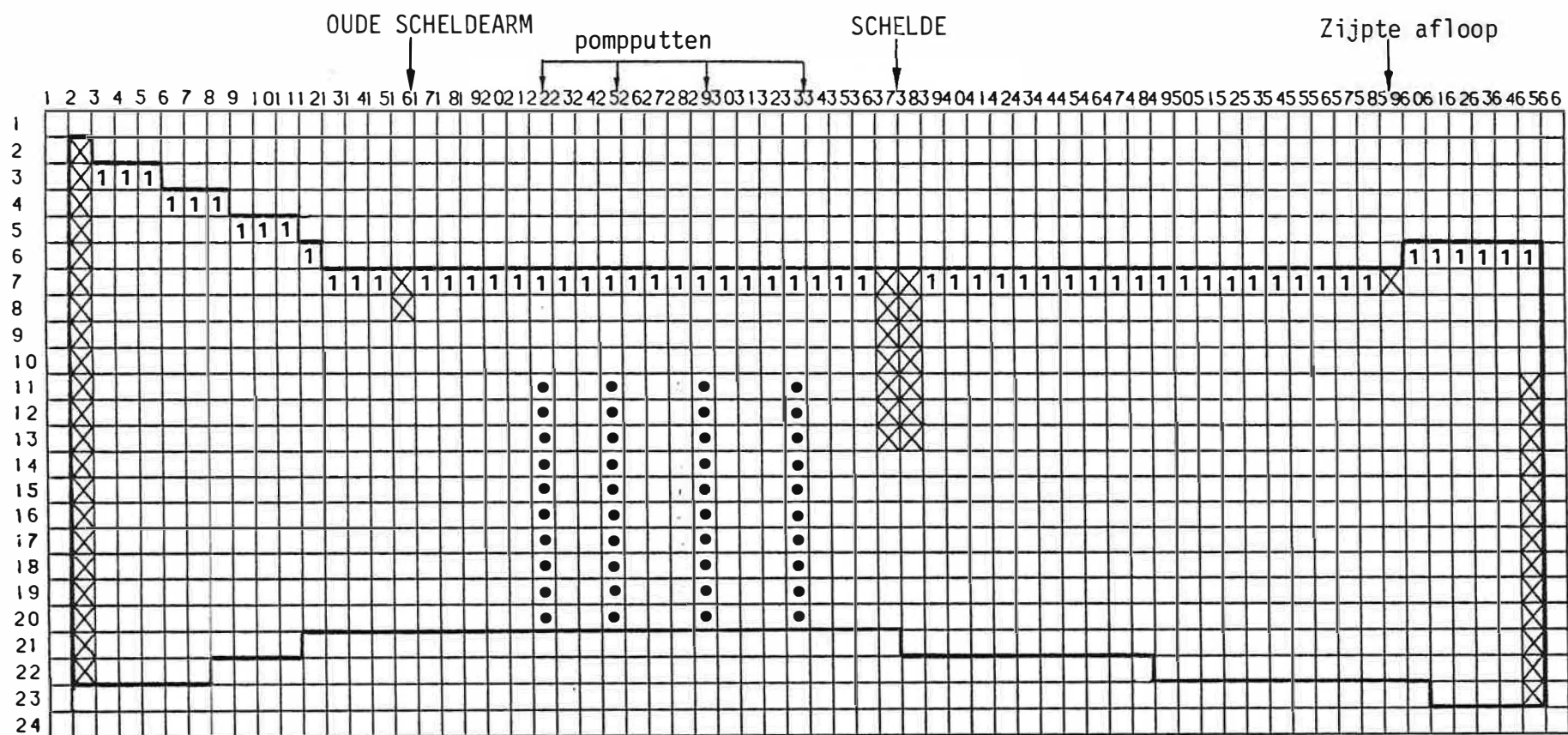
Bij de eerste simulatie werd de uitstroming vanuit de Schelde nagegaan. Hier wordt de concentratie van Scheldewater op 100 % gehouden. Bij de tweede simulatie wordt de uitstroming vanuit de oude Scheldearm gevolgd. Hier wordt de concentratie van het water in deze arm op 100 % gehouden.

Er werd een waterdoorlatende porositeit van 0.30 ingevoerd. De anisotropie (kv/kh) bedraagt 0.20. De longitudinale dispersiviteit is 0.30 m, de verhouding van transversale tot longitudinale dispersiviteit is 0.30.

Een overzicht van de ingevoerde randvoorwaarden wordt gegeven in fig. 15.

#### 4.4. Resultaten

Een mogelijke beïnvloeding van de grondwaterwinning door Scheldewater of water uit de oude Scheldearm is bestudeerd



X = vaste stijhoogtecellen

1 = infiltratiecel : nuttige neerslag = 270 mm/jaar

• = cellen waaruit gepompt wordt

Fig.15 - Ingevoerde randvoorwaarden in het vertikaal model



voor een maximaal windebiet van 4500 m<sup>3</sup>/d en het minimum debiet van 3500 m<sup>3</sup>/d (voor de eerste puttenkonfiguratie - zie 3.4.4.).

#### 4.4.1. Toestand met een winningsdebiet van 4500 m<sup>3</sup>/d

De resultaten van de simulatie met een mogelijke uitstroming vanuit de Schelde bij 4500 m<sup>3</sup>/d is voorgesteld op PLAAT 27.

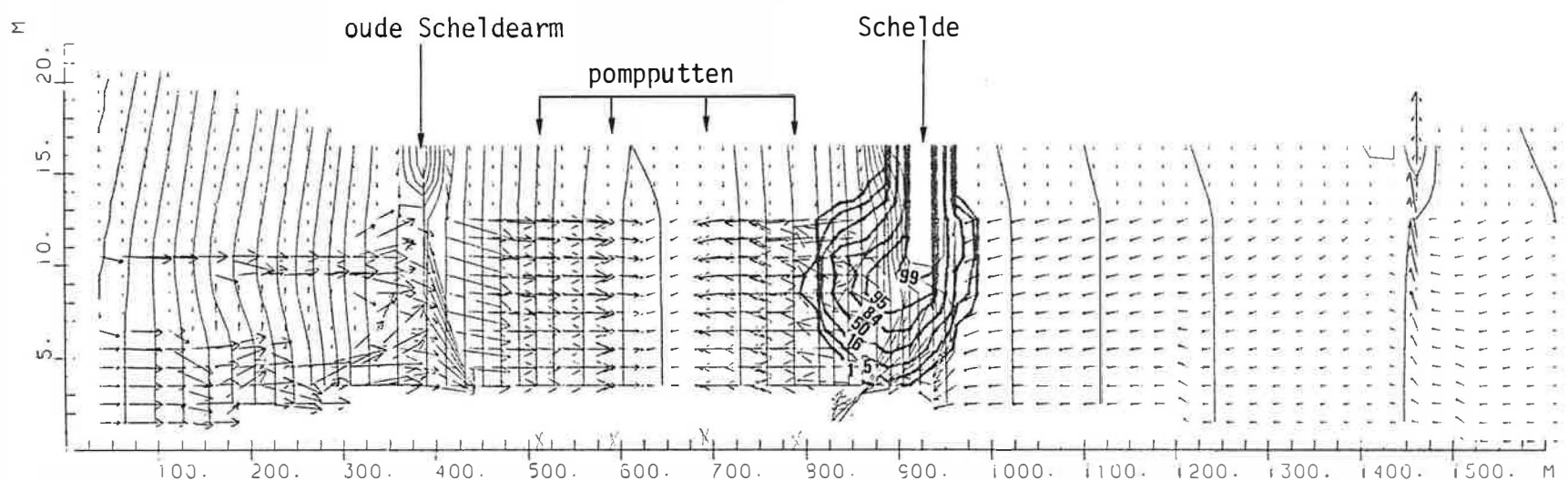
Uit de berekening blijkt dat de pompputten die het dichtst bij de Schelde gelokaliseerd zijn zeer vlug door Scheldewater zullen beïnvloed zijn. In de beschouwde doorsnede ligt de dichtste pompput op 100 m van de Schelde. Deze kan reeds na ca. 0.5 jaar gedeeltelijk Scheldewater oppompen. Nadien zullen ook de verder van de Schelde afgelegen pompputten beïnvloed worden. Het Scheldewater zal echter maximaal tot in het centrum van de depressietrechter doordringen. Dit kan na ca. 2.5 jaar gebeurd zijn. Aanvankelijk zullen kleinere concentraties opgepompt worden, maar de mengverhouding neemt toe met de tijd.

De resultaten van de simulatie die een mogelijke uitstroming vanuit de oude Scheldearm berekent is voorgesteld op PLAAT 28.

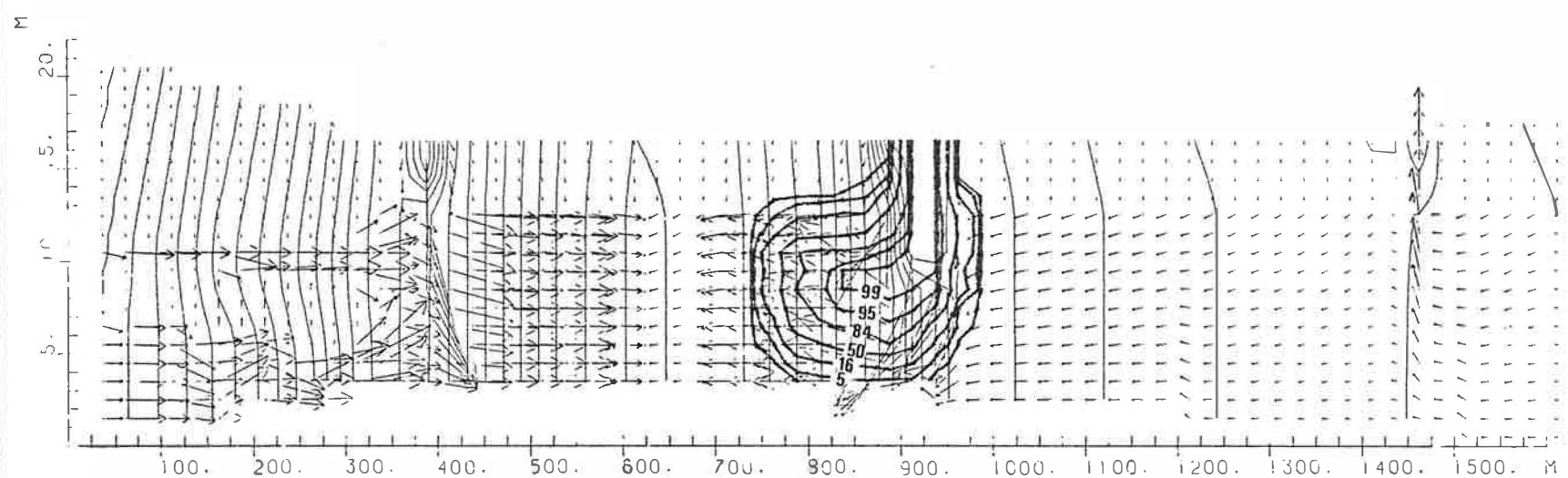
Uit de berekening blijkt dat de pompputten die het dichtst bij de oude Scheldearm gelokaliseerd zijn vlug water vanuit de arm zullen oppompen. Bij de simulatie wordt wel verondersteld dat het peil in de oude Scheldearm konstant wordt gehouden. In de beschouwde doorsnede ligt de dichtste pompput op ca. 150 m van de arm.

#### 4.4.2. Toestand met een winningsdebiet van 3500 m<sup>3</sup>/d

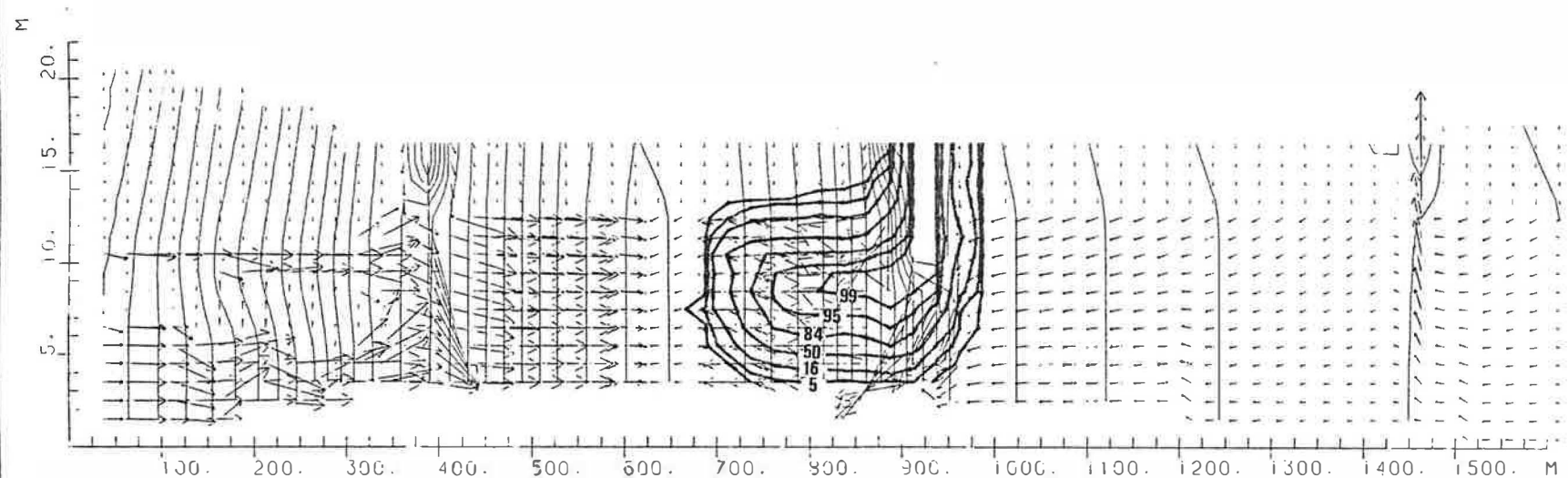
De berekeningen voor een winningsdebiet van 3500 m<sup>3</sup>/d (PLAAT 29 en 30) laten een gelijkaardige evolutie zien. De vooruit-



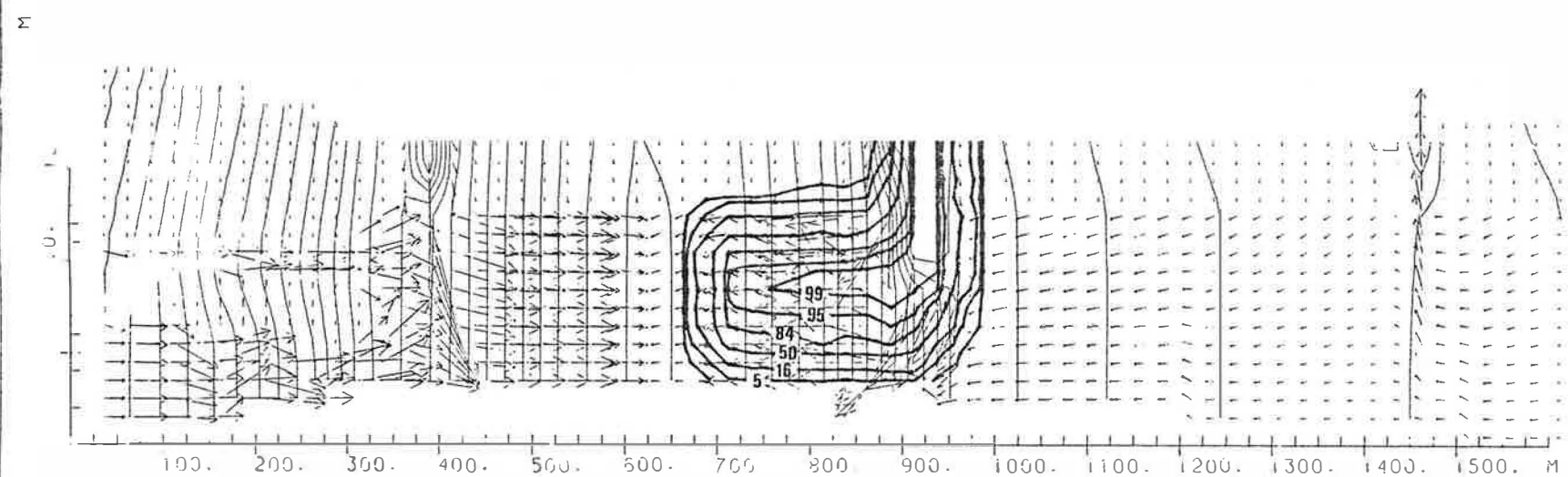
0.25 JAAR



0.50 JAAR

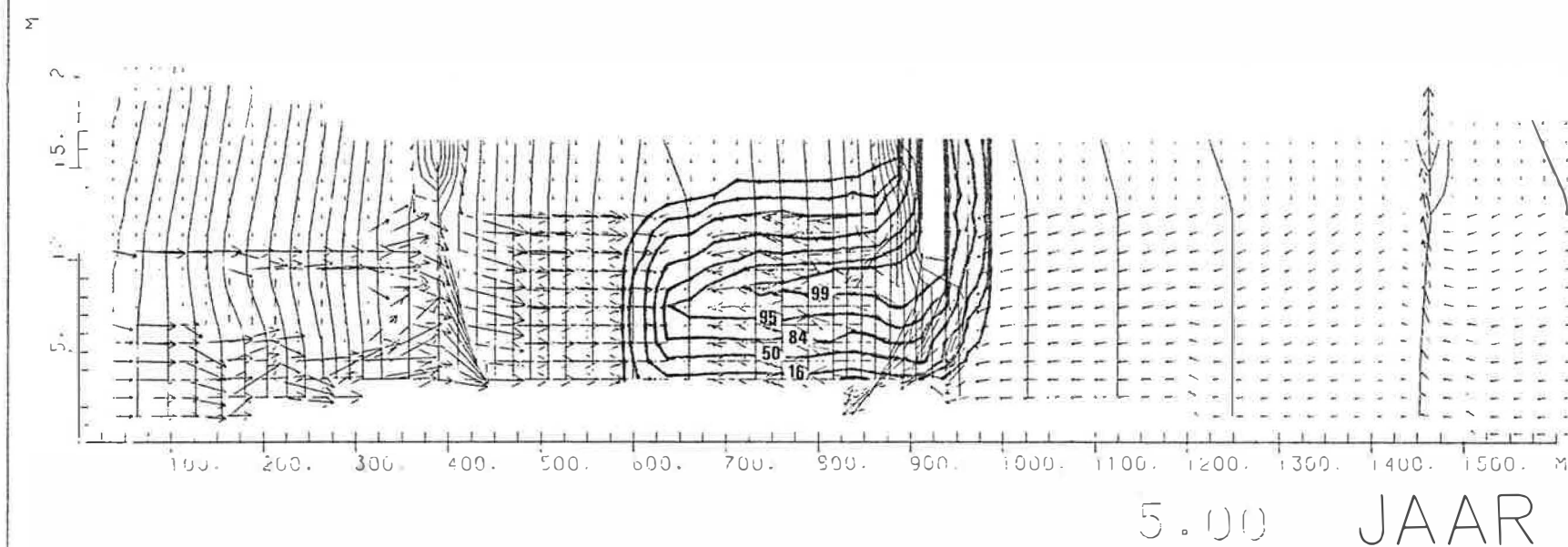
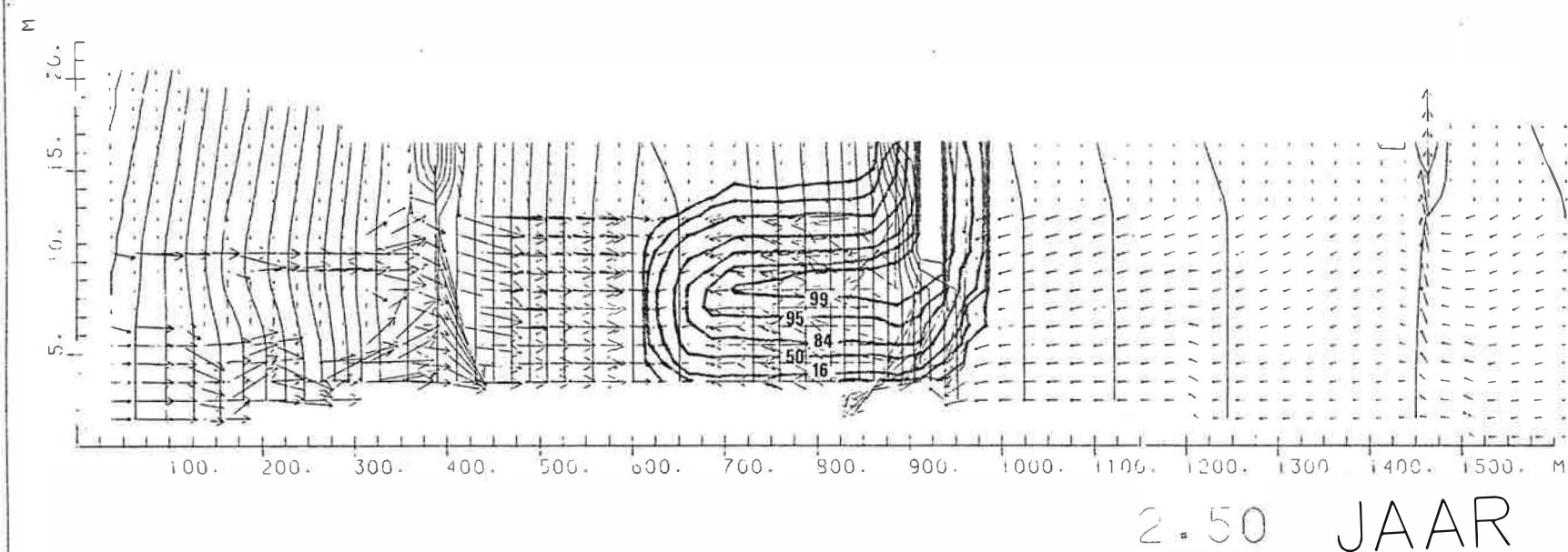
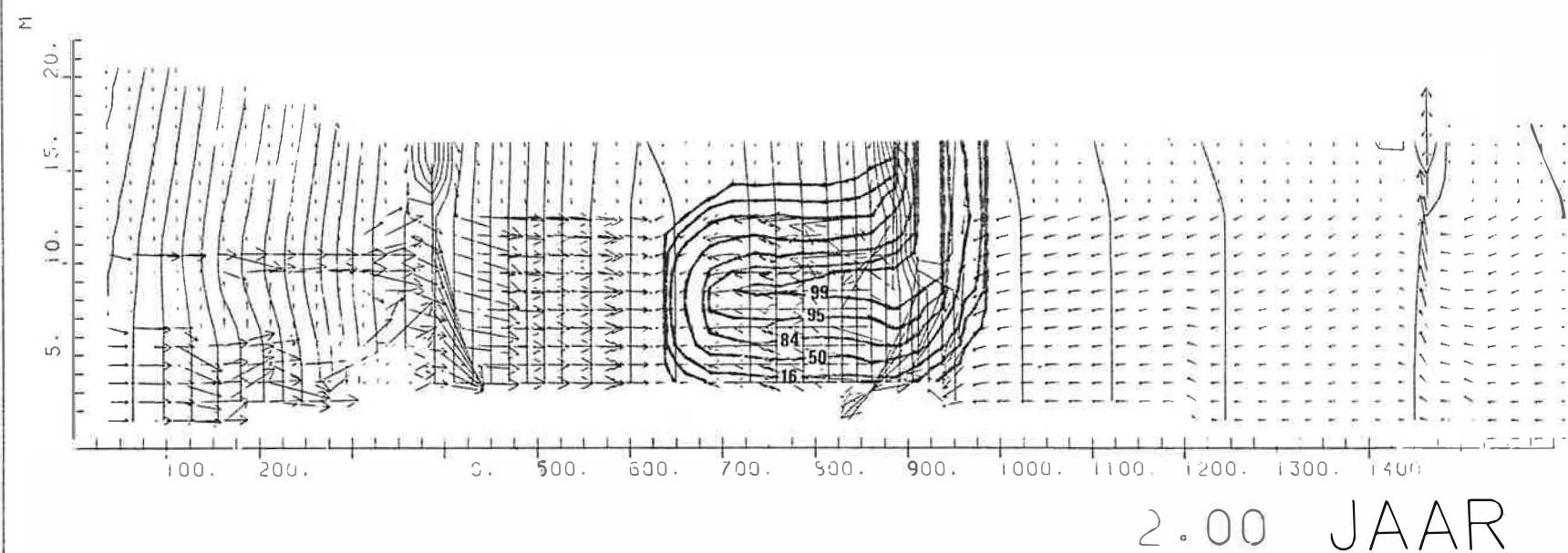
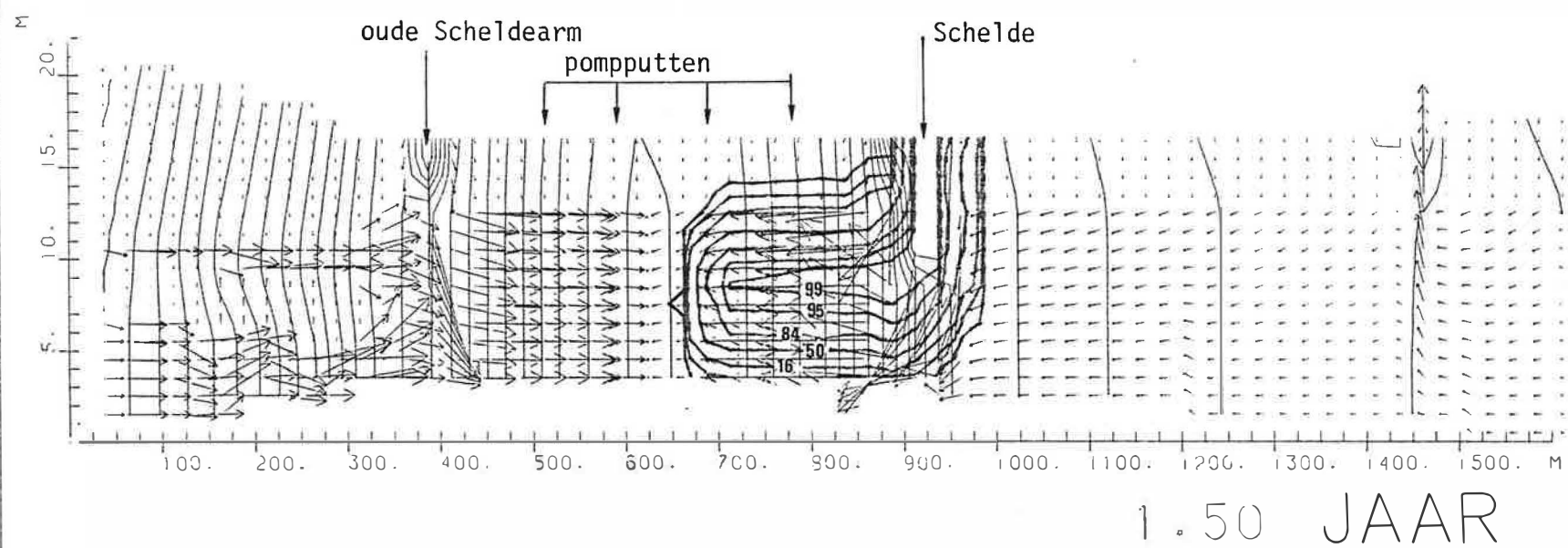


0.75 JAAR

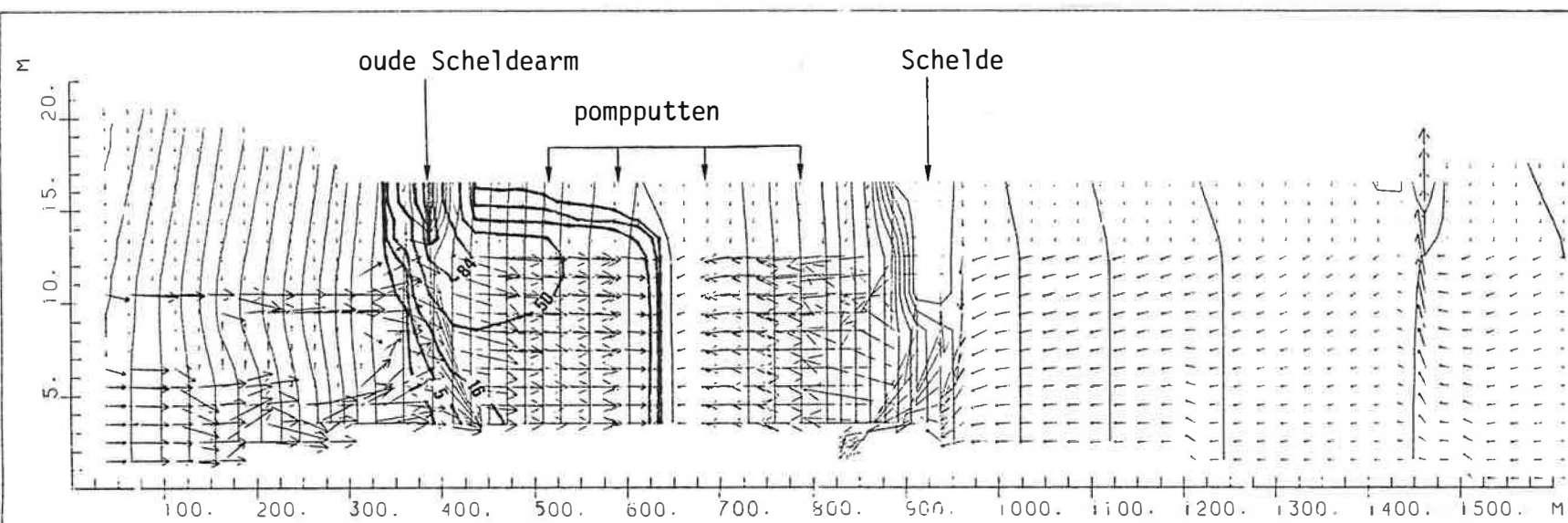


1.00 JAAR

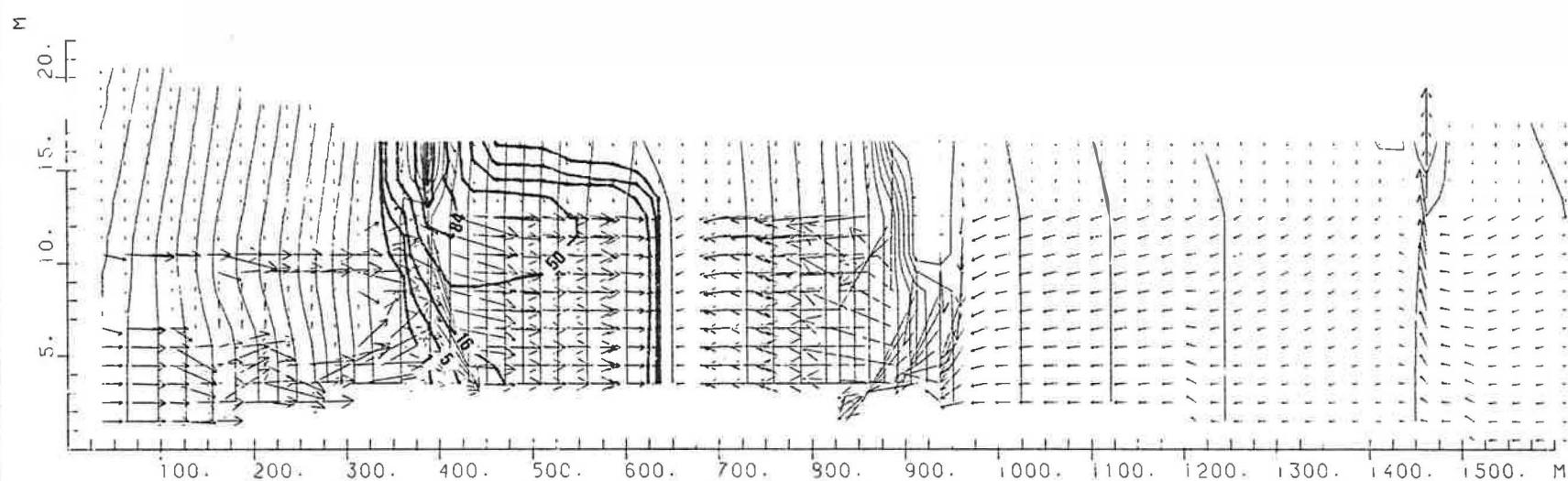
PLAAT 27 : Simulatie van de uitstroming vanuit de Schelde bij  $4500 \text{ m}^3/\text{d}$ .



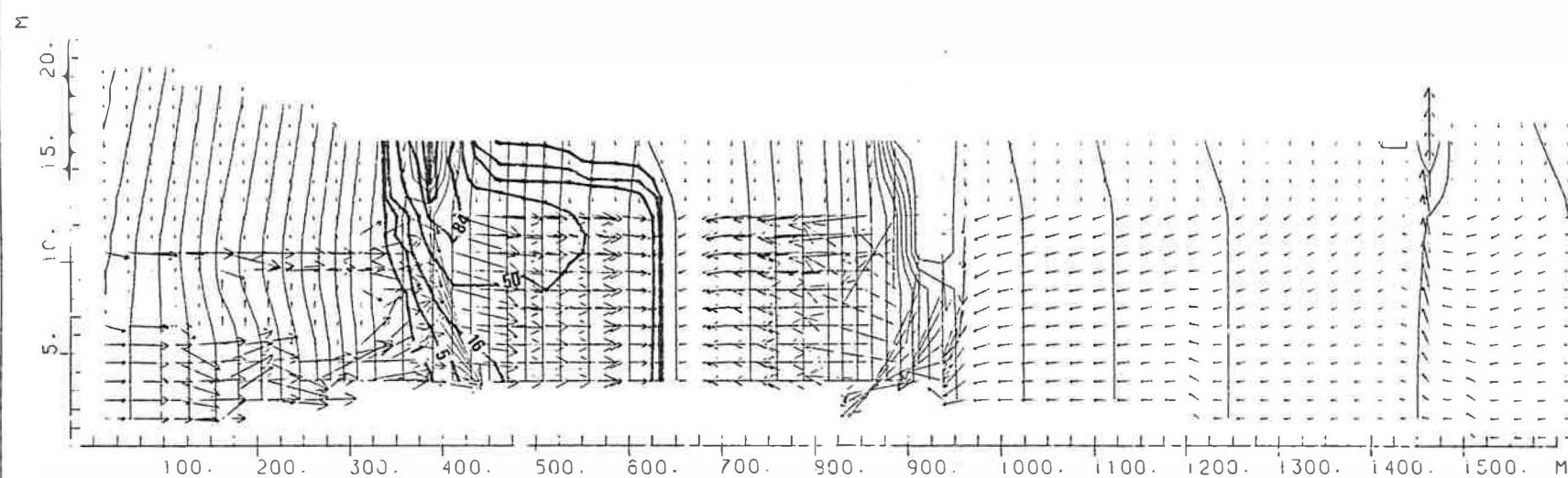




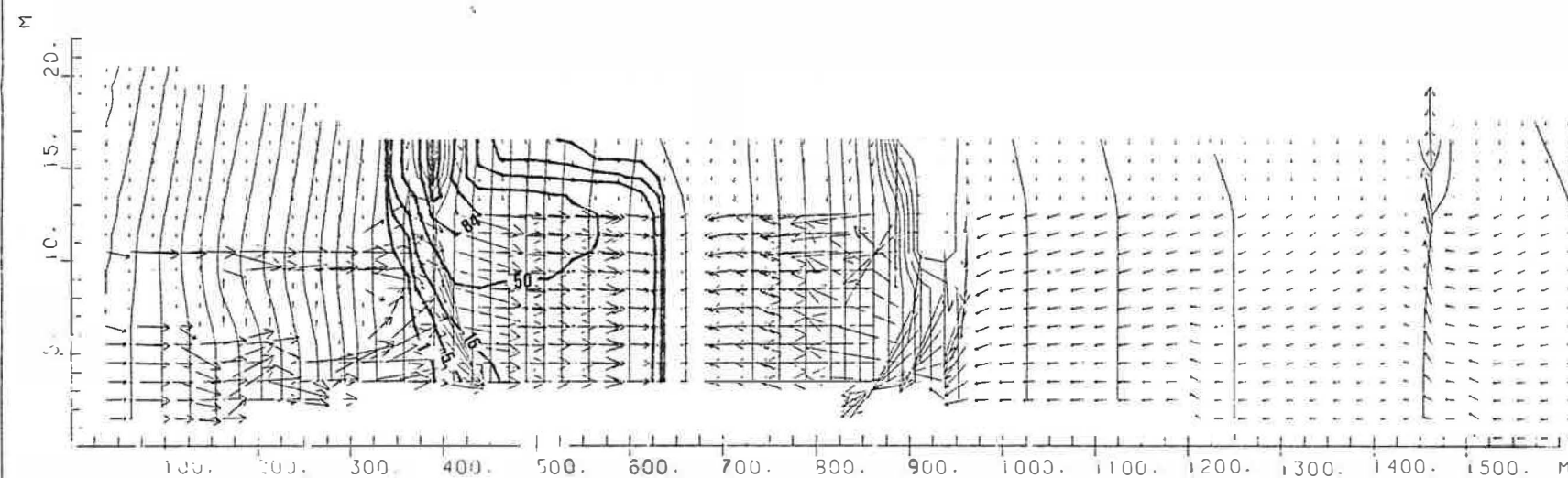
1.50 JAAR



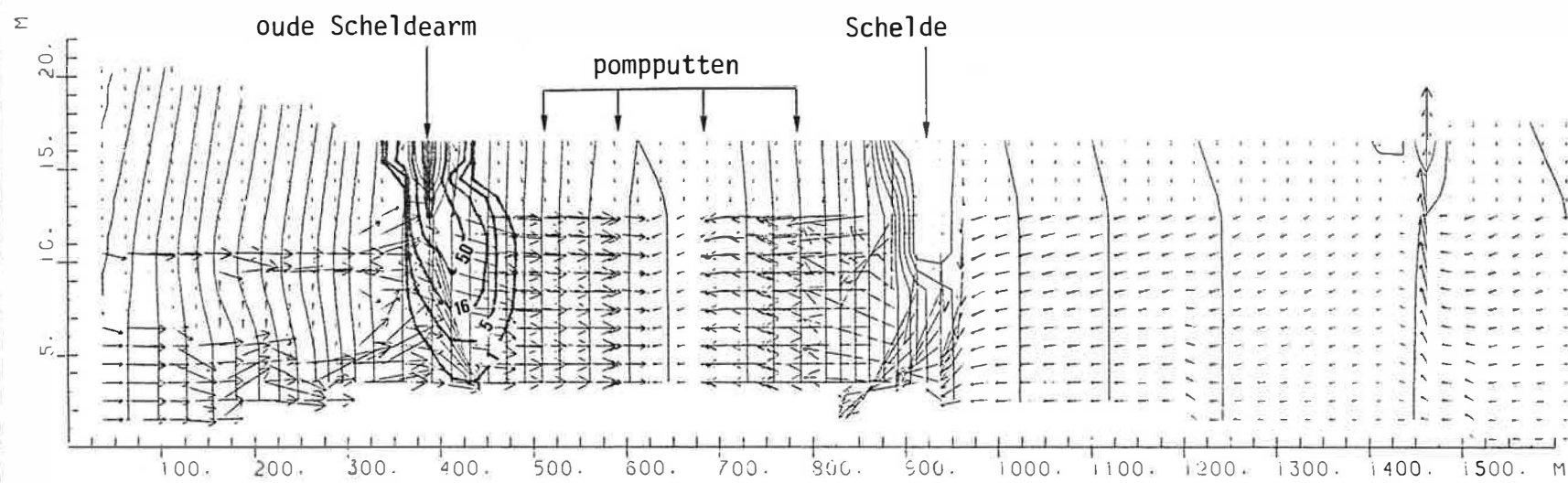
2.00 JAAR



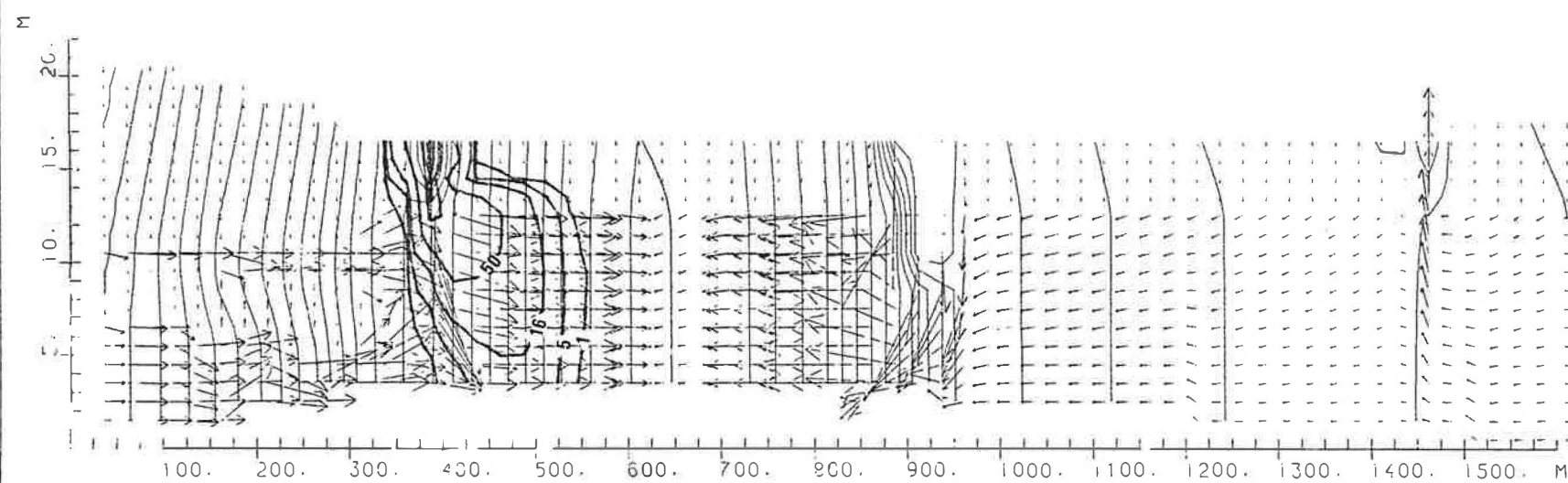
2.50 JAAR



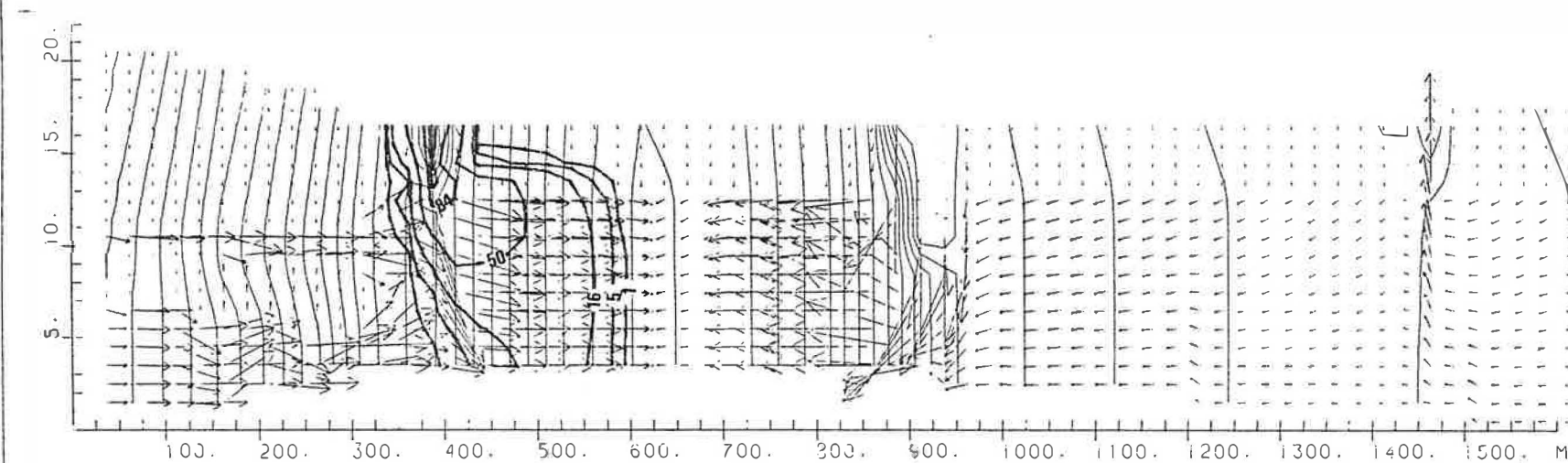
5.00 JAAR



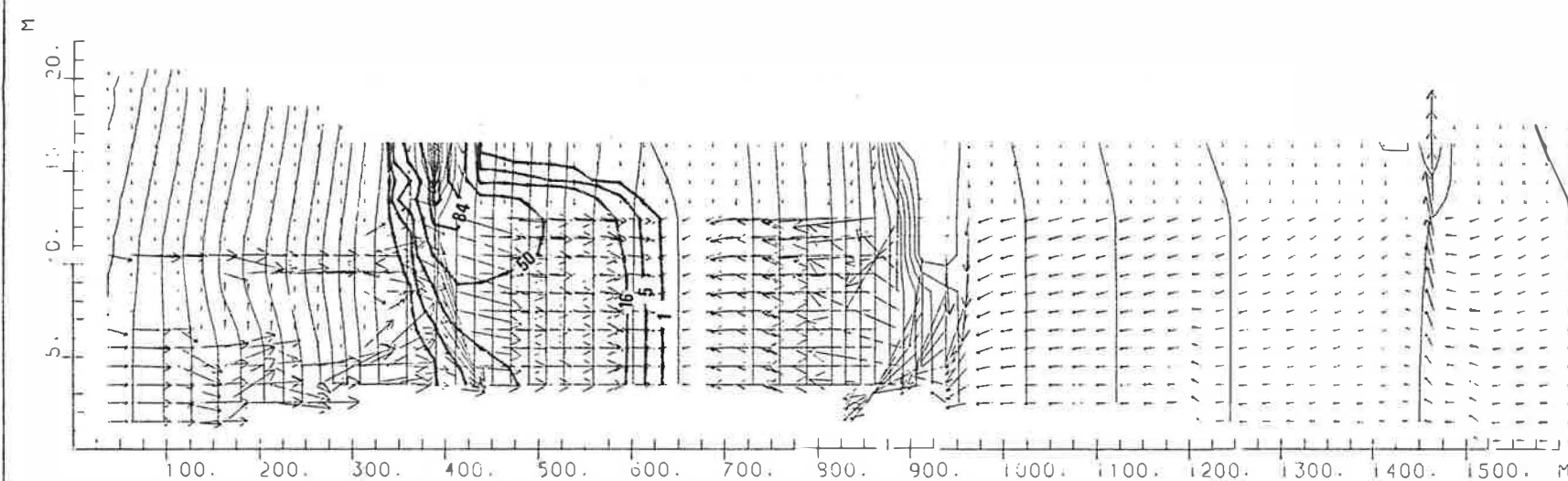
0.25 JAAR



0.50 JAAR

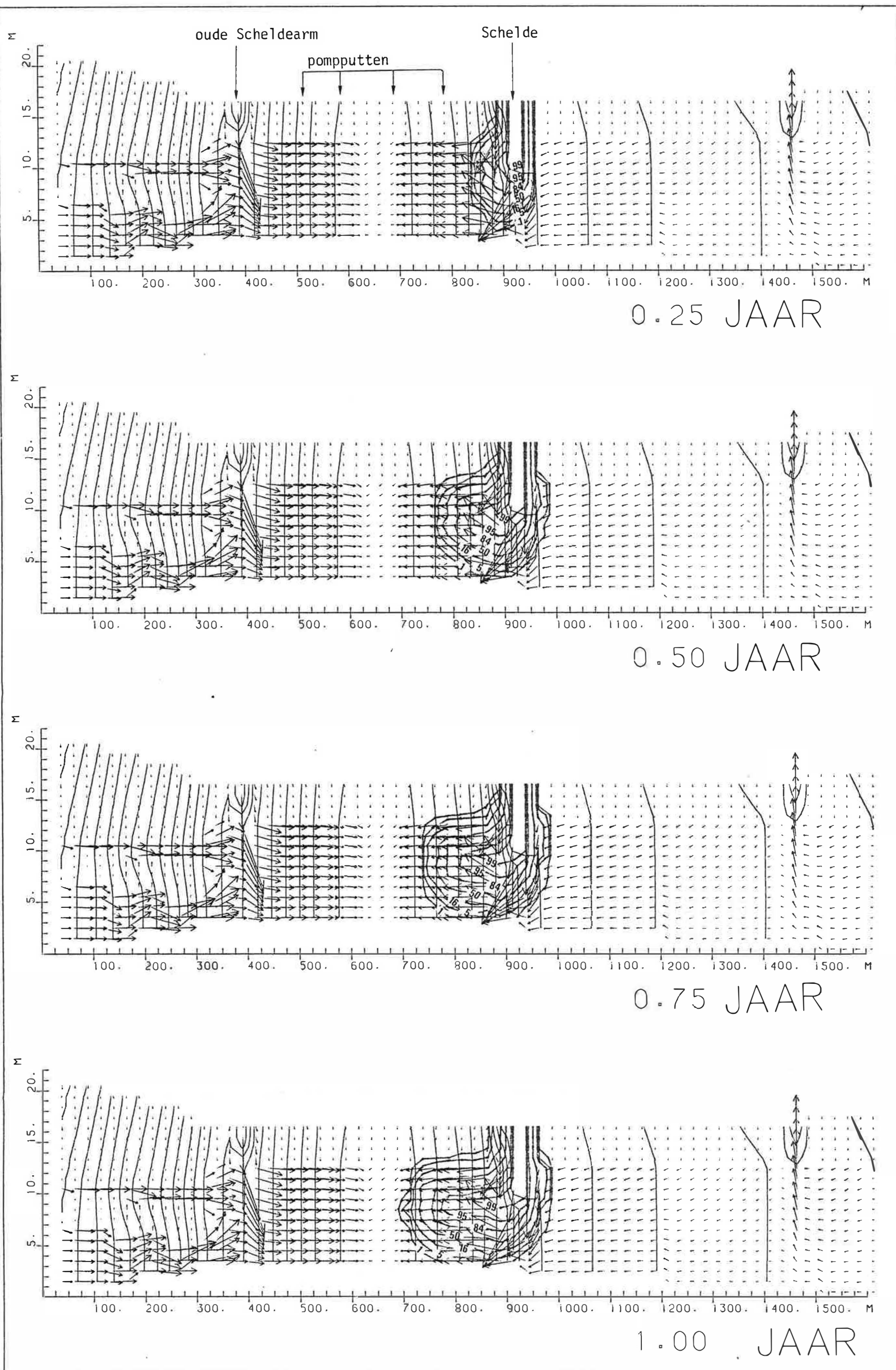


0.75 JAAR



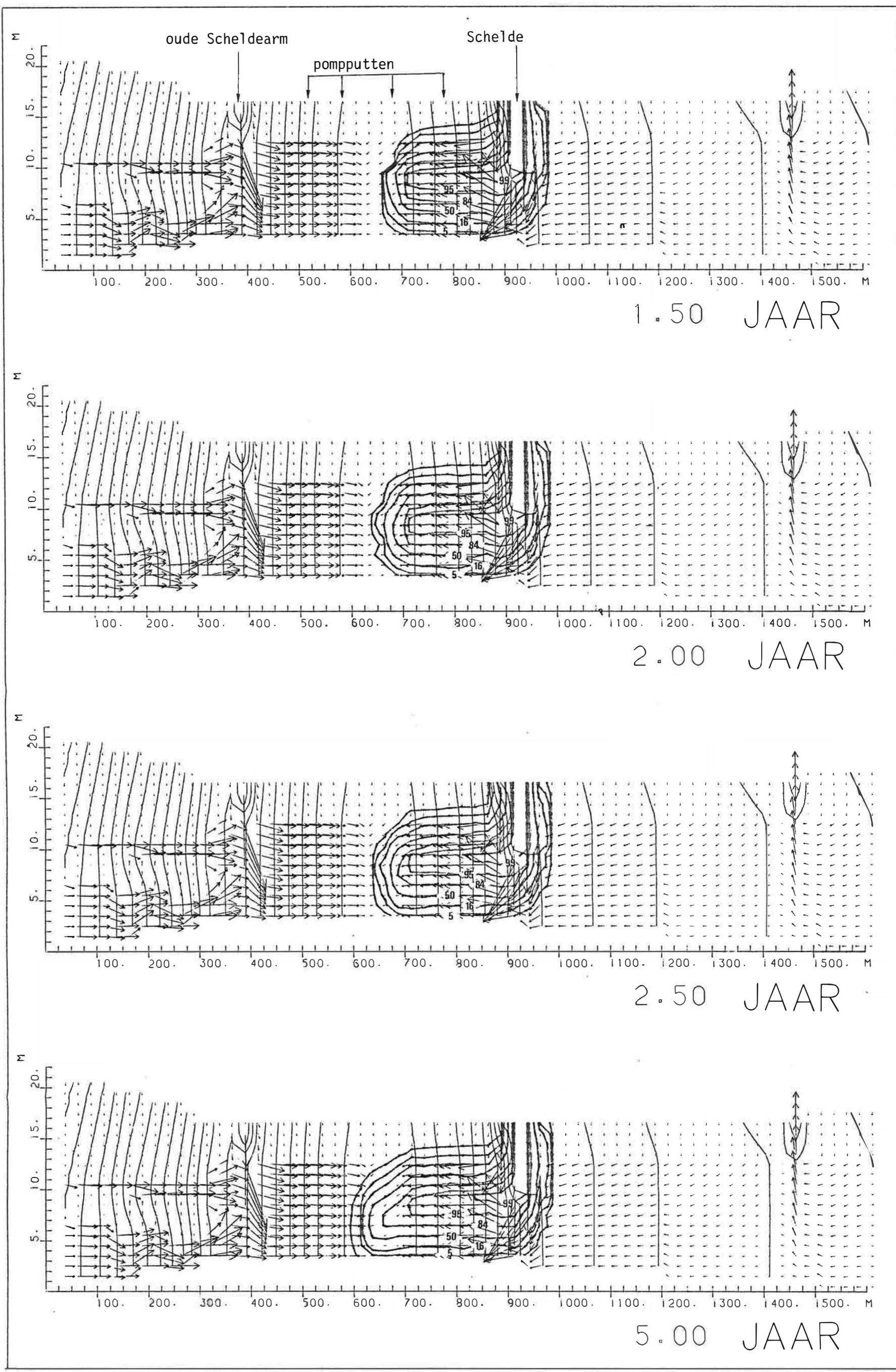
1.00 JAAR

PLAAT 28 : Simulatie van de uitstroming vanuit de oude Scheldearm bij 4500 m<sup>3</sup>/d.

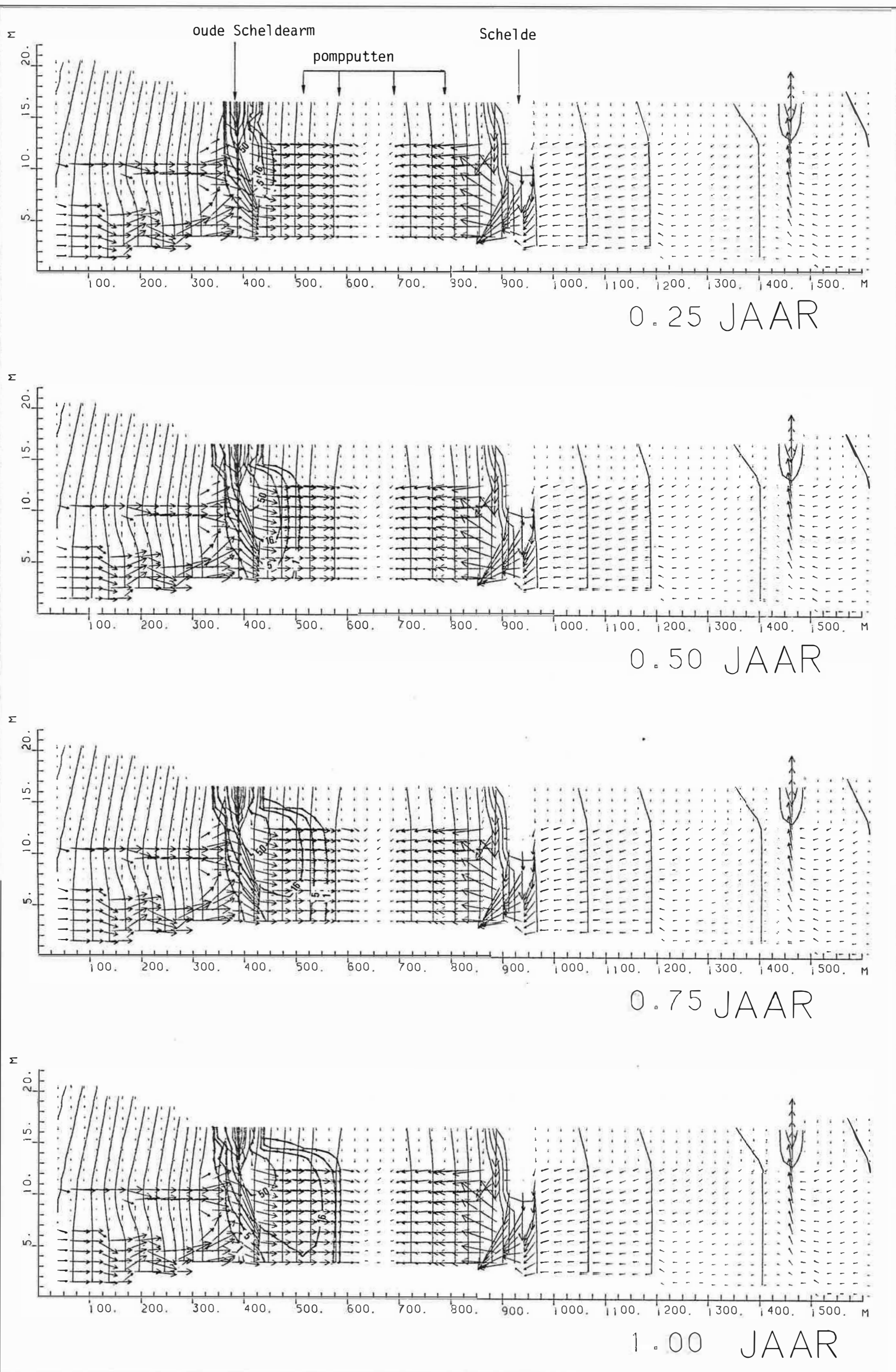


PLAAT 29 : Simulatie van de uitstroming vanuit de Schelde bij 3500 m<sup>3</sup>/d.

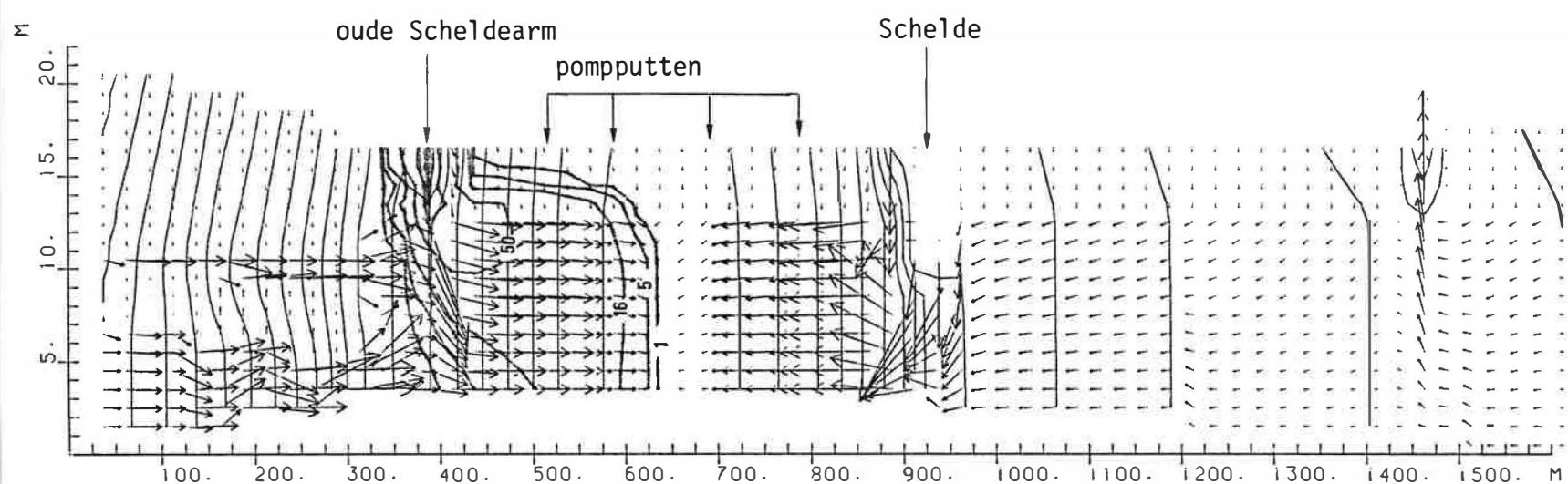




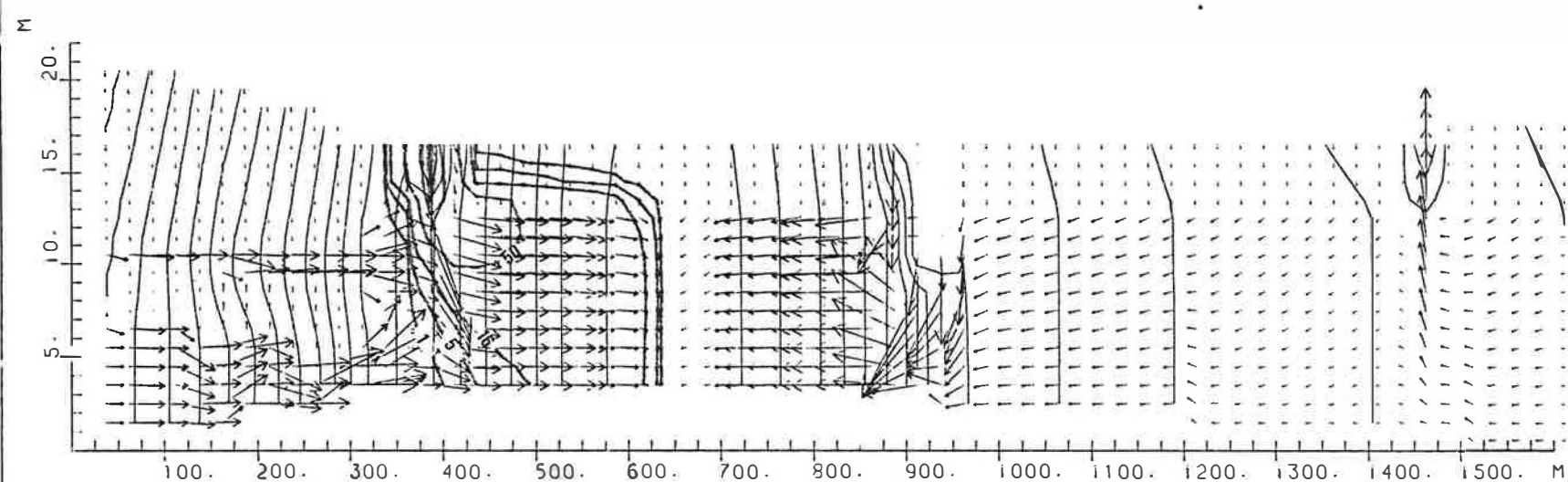
PLAAT 29 : vervolg



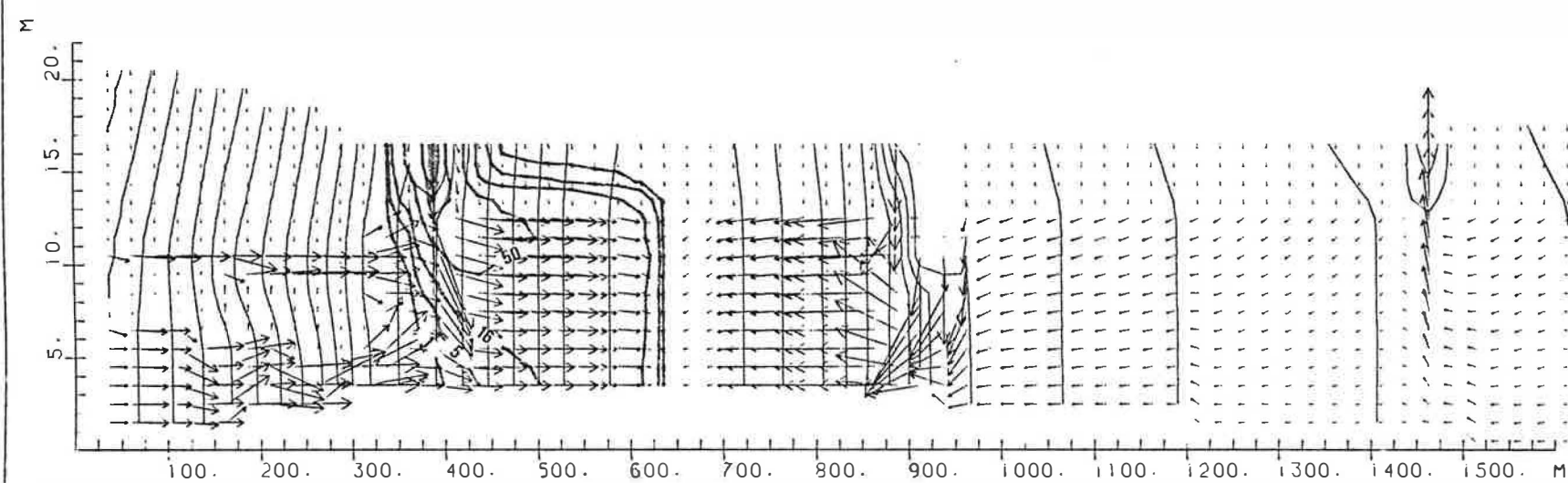
PLAAT 30 : Simulatie van de uitstroming vanuit de oude Scheldearm bij  $3500 \text{ m}^3/\text{d}$ .



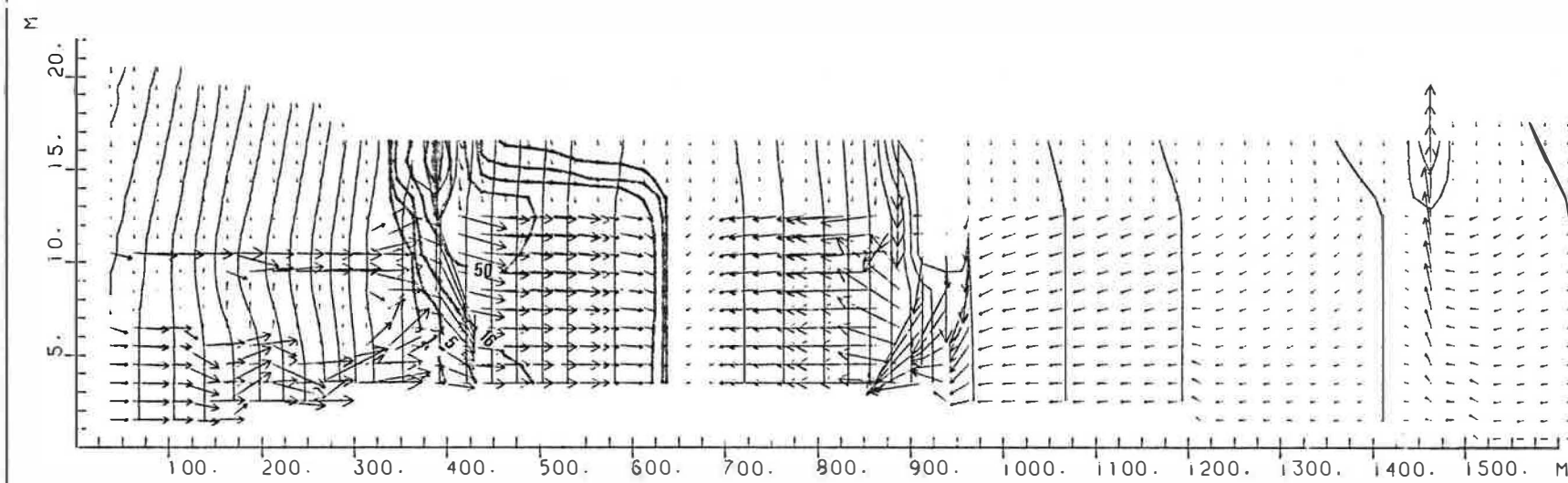
1.50 JAAR



2.00 JAAR



2.50 JAAR



5.00 JAAR



schrijving van het water uit de Schelde en uit de oude Scheldearm gebeurt enkel iets trager. Algemeen gelden hier echter dezelfde conclusies.

Uit het kwaliteitsmodel blijkt dat de kwaliteit van het opgepompt water sterk zal worden beïnvloed door zowel het Scheldewater, als het water uit de oude Scheldearm. Het opgepompte water zal na enkele jaren voor een groot deel uit dit water bestaan.

## 5. INTREK VAN SCHELDEWATER BIJ DE WINNING VOLGENS DE DERDE WINNINGSPUTTENKONFIGURATIE

### 5.1. Inleiding

De ligging van de verticale modeldoorsnede (zie 4.1.) heeft voor gevolg dat in het geval van de derde winningsputtenkonfiguratie de intrek van Scheldewater niet kon berekend worden. Voortgaande op het berekende stijghoogtepatroon volgens het kwasi-driedimensioneel stromingsmodel kan echter op een benaderende wijze analytisch bepaald worden na hoeveel tijd het Scheldewater de dichtsbijgelegen winningsput bereikt. Dit gebeurt met de formule :

$$v = \frac{k \cdot i}{n}$$

waarbij :  $k$  = horizontale doorlatendheid m/j.

$i$  = hydraulische gradiënt m/m

$n$  = porositeit  $m^3/m^3$

$v$  = snelheid m/j.

### 5.2. Resultaten

#### 5.2.1. Winningsdebiet 3000 $m^3/d$

Voor de derde winningsputtenkonfiguratie en een winningsdebiet van 3000  $m^3/d$  geldt :

$$v = \frac{9,4 \text{ m/d} \cdot \left( \frac{9,83 \text{ m} - 8,0 \text{ m}}{375 \text{ m}} \right) \cdot 365,25}{0,38} = 44 \text{ m/j}$$

waarbij :

9,4 m/d de hydraulische doorlatendheid is van de KZ laag

9,83 m de stijghoogte van de Schelde

8,0 m de berekende stijghoogte nabij de dichtste winningsput

375 m de afstand tussen de Schelde en de dichtste winningsput

0,38 de porositeit van het zand in de KZ laag

365,25 het aantal dagen per jaar.

Dit betekent dat Scheldewater ten vroegste na 8,5 jaar

(375 m/44 m/jaar) de dichtsbijgelegen winningsput zou kunnen bereiken. Dit zou zoals blijkt uit plaat 31 geschieden in kleine hoeveelheden : de kleine stromingsvektoren nabij de Schelde wijzen op een beperkte uitstroming van water uit de Schelde naar de winning.

#### 5.2.2. Winningsdebiet 2000 m<sup>3</sup>/d

Voor de derde winningsputtenkonfiguratie en een winningsdebiet van 2000 m<sup>3</sup>/d berekent men op analoge wijze :

$$9,4 \text{ m/d. } \frac{9,83 \text{ m} - 9,5 \text{ m}}{375} \cdot 365,25 = 7,95 \text{ m/jaar}$$

0,38

Dit betekent dat het Scheldewater ten vroegste na 47 jaar (375 m/7,95 m/jaar) de dichtsbijgelegen winningsput zou kunnen bereiken. Ook hier geschiedt dit slechts in kleine hoeveelheden (plaat 32).

#### 5.3. Bespreking

Uit het oogpunt grondwaterkwaliteit blijkt de winningsplaats volgens de derde puttenkonfiguratie beter geschikt dan indien men het water wenst op te pompen ter hoogte van het golfterrein. Bij een debiet van 2.000 m<sup>3</sup>/d zou slechts na lange tijd (47 jaar) een kleine hoeveelheid Scheldewater in de meest nabijgelegen winningsput terechtkomen. Door het nemen van beperkte voorzorgsmaatregelen zou het mogelijk zijn deze intrek van Scheldewater te beletten. Hierbij kan worden gedacht aan het gebruik van de oude Scheldearm en de Rijtgracht (tussen de Schelde en het waterwingebied) als hydraulische barriere.



## 6. BESCHERMINGZONES

### 6.1. Inleiding

Volgens het Besluit van de Vlaamse Executieve houdende reglementering en vergunning voor het gebruik van grondwater en de afbakening van waterwingebieden en beschermingszones (27 maart 1985) moet bij de aanvraag van grondwaterwinningen van categorie C (bestemd voor de openbare drinkwatervoorziening) een voorstel ingediend worden tot afbakening van het waterwingebied en tenminste van de beschermingszones type I en type II. Tevens is een plan nodig waarop de grenzen van de beschermingszonetype III zijn aangeduid.

Het waterwingebied wordt begrensd door de lijn die op maximaal 20 m afstand ligt van de buitengrenzen van de (voor onderhavig geval) winningsputten.

De beschermingszones worden gedefinieerd als zones van waaruit het water de winningsputten na een zekere tijd kan bereiken. Deze tijd bedraagt volgens hogervermeld besluit 24 uur voor beschermingszone type I, 60 dagen voor beschermingszone type II en het voedingsgebied voor beschermingszone type III (met voor freatische waterlagen een buitenste grens die op maximaal 2000 m van de grens van het waterwingebied is gelegen). Voor de bepaling van de tijd, die het grondwater nodig heeft om de winplaats te bereiken, wordt geen rekening gehouden met de tijd, die het water nodig heeft om in een oppervlaktelaag van 0,60 m dikte door te dringen in groengebieden, agrarische gebieden en bosgebieden en van 3 m in woon- en industriezones en ambachtelijke zones.

### 6.2. Bespreking

Gelet op de dikte en de doorlatendheid van de slecht doorlatende KL laag die de watervoerende laag overal bedekt mag men

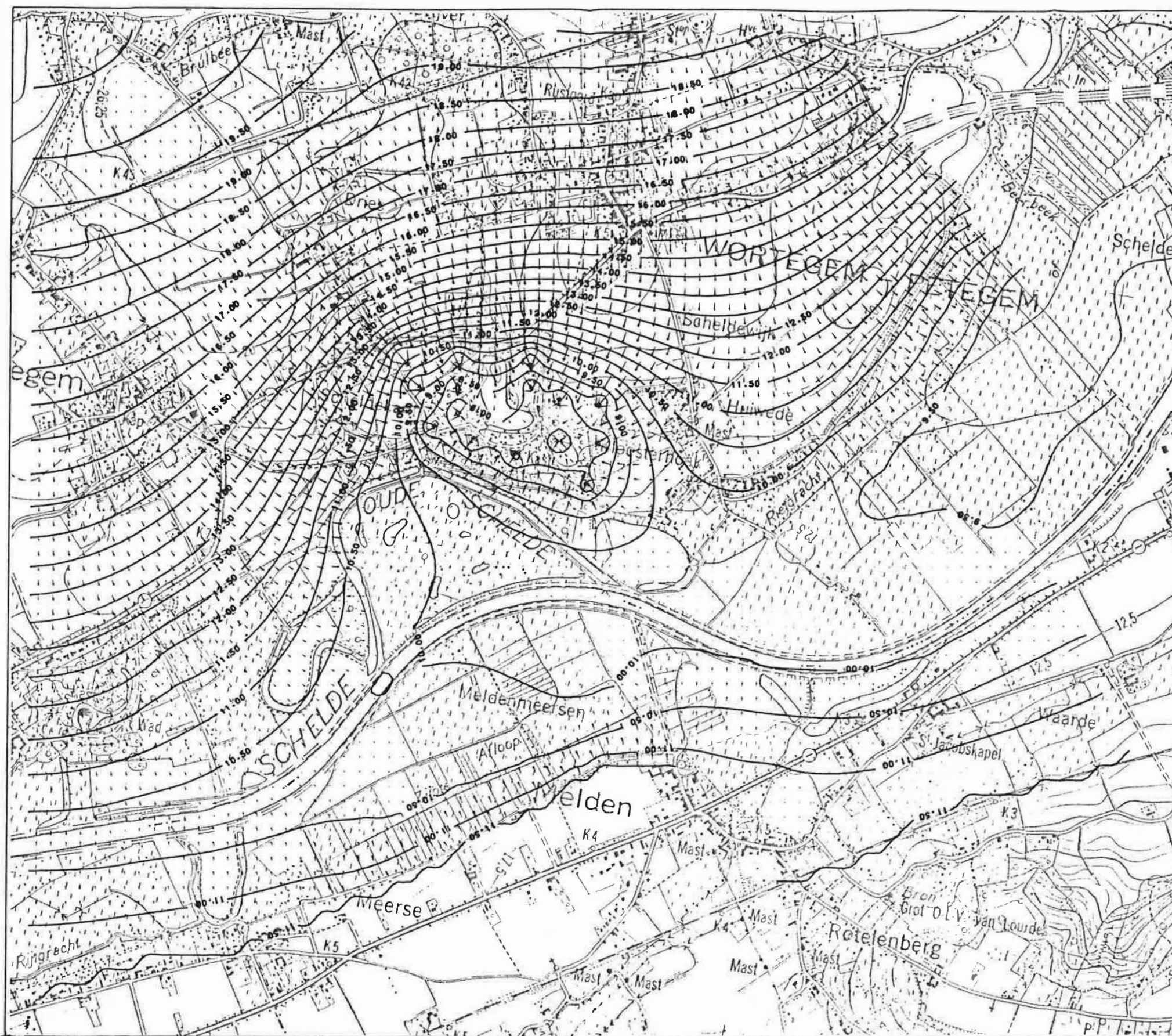
aannemen dat bij het korrekt afwerken van de winningsputten de beschermingszones type I en type II samenvallen met het waterwingebied. Dit geldt zowel in het geval de winningsputten in de boreale vallei zouden worden geplaatst (de alluviale klei heeft een grote hydraulische weerstand, namelijk 605 d per m afzetting bepaald met de pompproeven) als in de pleistocene vallei (de hydraulische weerstand van de leem bepaald uit de kalibratie door middel van het mathematisch model bedroeg minimaal 100 d per m afzetting). De dikte van de slecht doorlatende KL laag (leem of alluviale klei) volstaat aldus om te beletten dat het water door een verontreiniging vanop 0,6 m onder het maaiveld de winningsputten in 60 dagen zou bereiken.

Het waterwingebied bestaat aldus uit een cirkelvormige oppervlakte rond elke winningsput, waarbij deze laatste het middelpunt van de cirkel is, de straal bedraagt 20 m.

Het afbakenen van beschermingszone type III kan men slechts door het maken van een driedimensioneel grondwaterstromingsmodel.

De beschermingszone type III kan benaderend worden afgeleid aan de hand van de stijghoogtelijnen en de stromingsvektoren : zie plaat 31 voor een winningsdebiet van 3.000 m<sup>3</sup>/d en plaat 32 voor een winningsdebiet van 2.000 m<sup>3</sup>/d. De resultaten zijn voorgesteld in figuur 16.

Hierbij dient gelet op het feit dat hier een zone wordt afgebeeld waarbij enkel wordt rekening gehouden met het stromingspatroon in de aangepompte KZ laag. Binnen de aangeduide zone behoren gebieden waar een opwaartse stroming heerst (vanaf de KZ laag naar de watertafel) niet tot de eigenlijke beschermingszone type III. Vanuit die plaatsen kunnen waterdeeltjes vanaf de watertafel immers niet het waterwingebied bereiken. Dit kan mogelijks het geval zijn voor het gebied

PLAAT 31: STROMINGSVEKTOREN BIJ WINNING VAN 3000 M<sup>3</sup>/DAG

LAAG 1

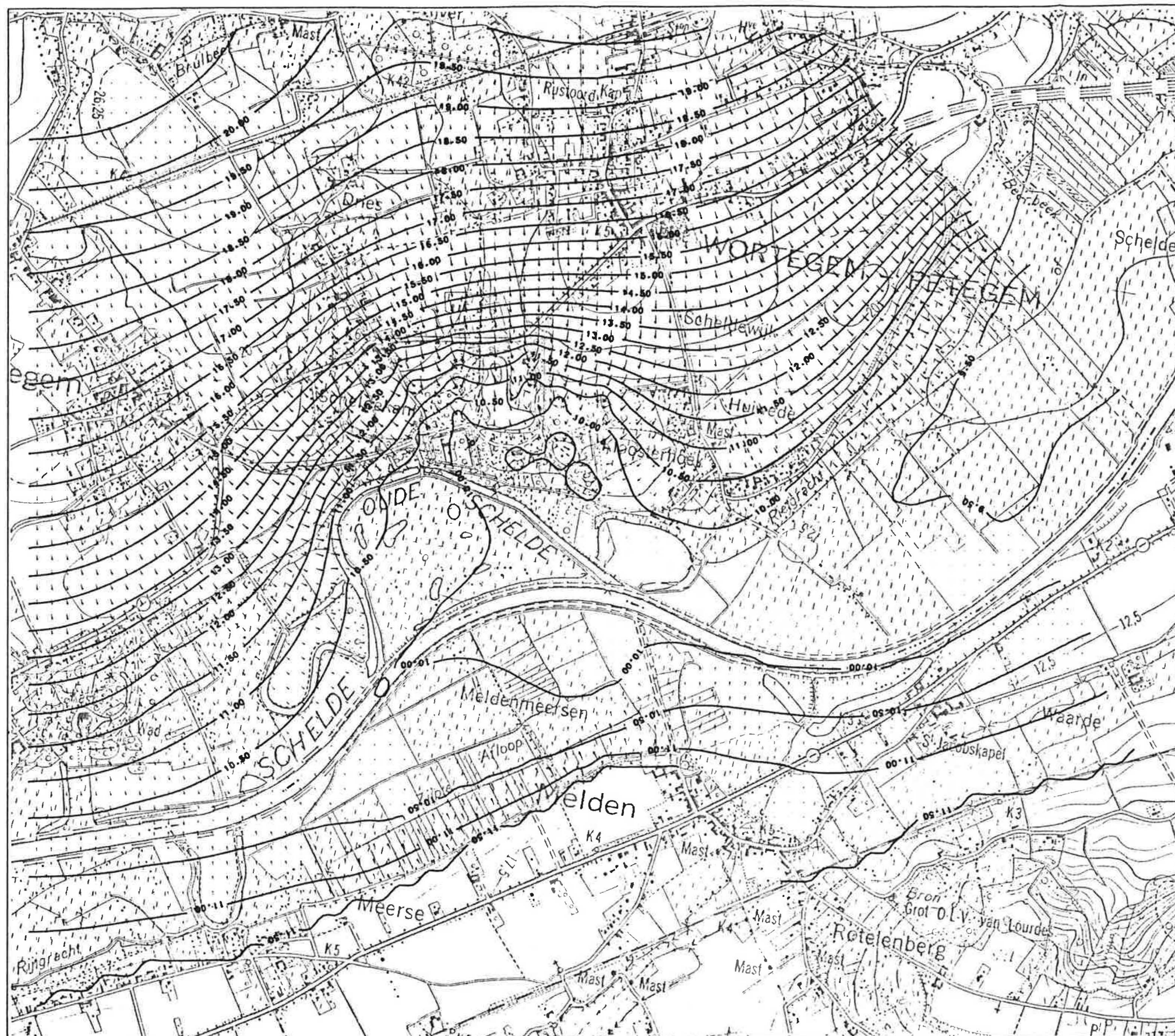
ISOLIJNEN

DARCJAANSE HORIZONTALE SNELHEDEN

LIJNEN OM DE 0.50 METER

→ VEKTORLENGTE VAN 0.2700 M/D





PLAAT 32: STROMINGSVEKTOREN BIJ WINNING VAN 2000 M<sup>3</sup>/DAG

LAAG 1

ISOLIJNEN

DARCIAANSE HORIZONTALE SNELHEDEN

LIJNEN OM DE 0.50 METER

→ VEKTORLENGTE VAN 0.2700 M/D

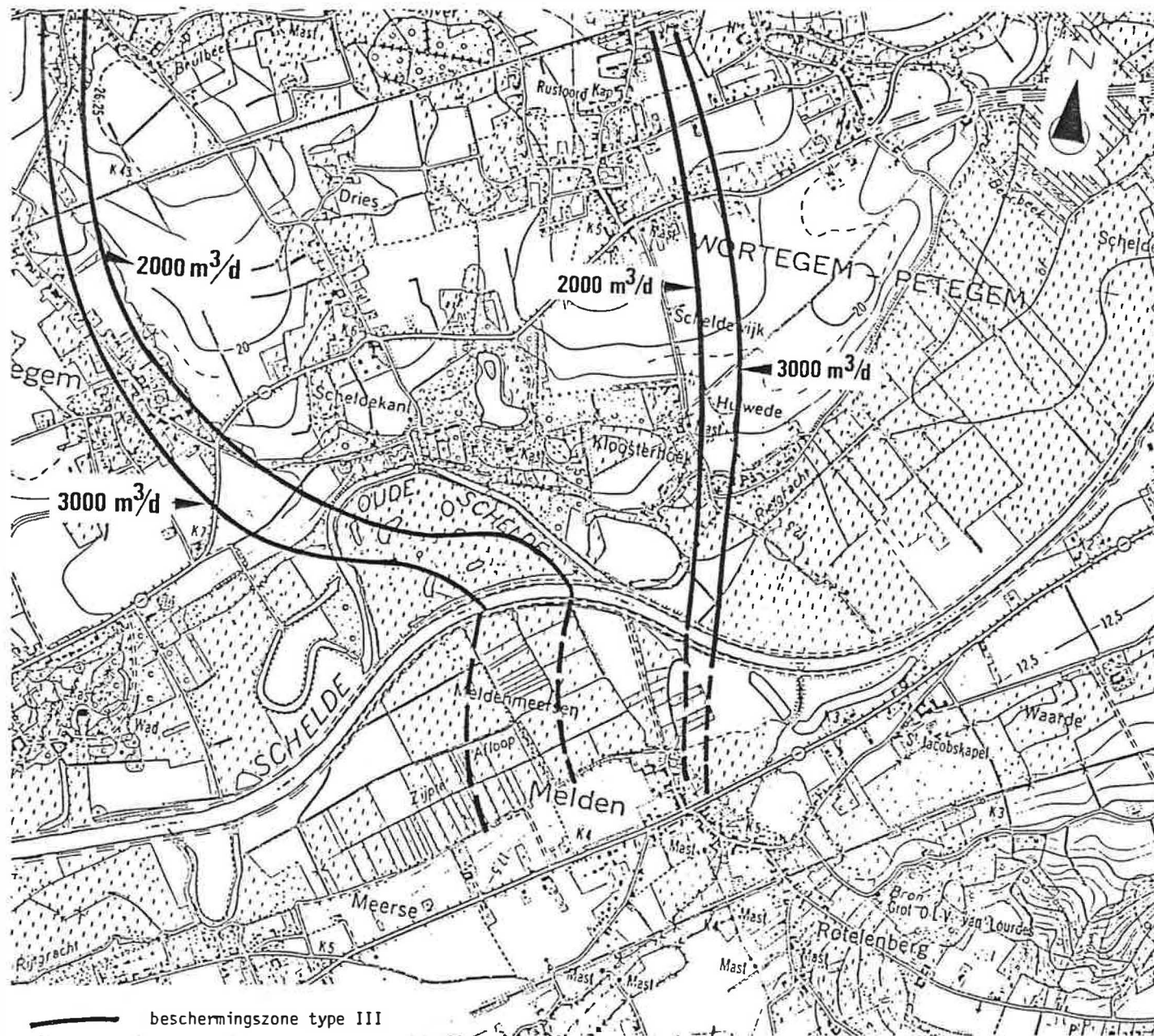


Fig.16 - Beschermingszone type III bij winning van  $3000$  en  $2000 \text{ m}^3/\text{d}$  volgens de derde winningsputtenconfiguratie.

ten zuiden van de Schelde (op figuur 16 aangeduid door een stippellijn).

Uit figuur 16 blijkt dat een groter winningsdebiet aanleiding geeft tot een grotere beschermingszone type III. De west- en oostgrens van deze zone vallen samen met een stroomlijn. De noordelijke grens valt waarschijnlijk samen met de waterscheidingskam tussen de stroombekkens van de Snepbeek en de Vosbeek op ongeveer 2 km afstand van het waterwingebied. De zuidelijke grens kan minder nauwkeurig afgebakend worden. Afhankelijk van de hydraulische weerstand van de Scheldebedding (slib) kan er een stroming optreden onder de Schelde door in de laag KZ naar de winning. Hoe groter deze hydraulische weerstand hoe groter de mogelijkheid dat dergelijke stroming optreedt. Deze parameter kan niet nauwkeurig bepaald worden; hij is tevens afhankelijk van de dikte van de sliblaag (baggerwerken kunnen deze parameter wijzigen).



## BESLUIT

De grondwaterkwaliteit in de freatisch watervoerende laag van het Kwartair ter hoogte van het golfterrein te Wortegem-Petegem vertoont in vergelijking met de technische reglementering inzake drinkwater (Besluit van de Vlaamse Executieve van 15 maart 1989) een overschrijding van de maximaal toelaatbare concentratie voor de parameters ijzer, mangaan, kalium, totaal fosfaat, ammonium en Kjeldahlstikstof. De te hoge waarden voor ijzer en mangaan kunnen worden toegeschreven aan de natuurlijke grondwaterkwaliteit, de andere overschrijdingen duiden op antropogene invloeden (bemesting).

Door middel van een kwasi-driedimensioneel grondwaterstromingsmodel werd de invloed van een grondwaterwinning waar alle winningsputten gelegen zijn tussen de oude Scheldearm en de Schelde (golfterrein) berekend. Dit gebeurde voor winningsdebieten van 4.500, 4.000 en 3.500 m<sup>3</sup>/d onttrokken via 15 winningsputten in de doorlatende laag boven de Ieperse Klei. Bij alle uitgevoerde modelberekeningen wordt aangenomen dat het waterpeil in de oude Scheldearm op het huidige peil gehandhaafd blijft.

Uit de resultaten blijkt dat voor continue pompingen met de aangegeven debieten verlagingen van de stijghoogte in de aangepompte laag zullen optreden die in het centrum van de winning 6,0 m (voor 4.500 m<sup>3</sup>/d) en 5,0 m (voor 3.500 m<sup>3</sup>/d) bedragen. De verlaging van de watertafel is van dezelfde grootte en zal hoofdzakelijk in het gebied tussen de Oude Scheldearm en de Schelde optreden. Enkel tussen de Oude Scheldearm en de wijk Kloosterbos kunnen eveneens verlagingen tot 1,5 m bestaan.

Voor de winningsdebieten van 4.500 en 3.500 m<sup>3</sup>/d werd met behulp van een tweedimensioneel vertikaal model de wisselwerking berekend van grondwater en oppervlaktewater uit de

Schelde en de Oude Scheldearm. Dit gebeurde voor een doorsnede gelegen volgens de uitgevoerde boringen doorheen het golfterrein. Uit de berekeningen blijkt dat tamelijk snel (na ongeveer 0,5 jaar voor een winningsdebiet van 4.500 m<sup>3</sup>/d) reeds een hoeveelheid Scheldewater en water uit de Oude Scheldearm zullen opgepompt worden. De winningsputten het dichtst bij de Schelde gelegen zullen reeds na enkele jaren Scheldewater oppompen. Deze nabij de oude Scheldearm zullen het water hiervan oppompen. Het is duidelijk dat de kwaliteit van het opgepompte water hierdoor zal beïnvloed worden.

Gezien de uit kwaliteitsoogpunt weinig gunstige vooruitzichten werden in een volgende fase de invloed berekend van een grondwaterwinning waarbij de winningsputten gelegen zijn op het golfterrein en ten noordoosten van de oude Scheldearm. Hierbij werd aangenomen dat 1.000 m<sup>3</sup>/d werd gewonnen op het golfterrein en 2.000 m<sup>3</sup>/d ten noorden van de oude Scheldearm. Uit deze berekeningen bleken nog steeds grote verlagingen (1,5 m) op te treden ter hoogte van het golfterrein in de aangepompte laag, zodat de intrek van Scheldewater nog steeds belangrijk zal zijn. Daarom werden de berekeningen uitgevoerd voor een grondwaterwinning waarbij enkel werd gepompt op 15 winningsputten gelegen ten noorden van de Oude Scheldearm. Hierbij werden windebieten van 3.000 en 2.000 m<sup>3</sup>/d beschouwd. Aldus worden verlagingen veroorzaakt van respectievelijk 6,5 m en 4,0 m in de aangepompte laag en van de watertafel ter hoogte van de winningsputten. In het golfterrein zullen de verlagingen beperkt zijn.

Uit analytische berekeningen blijkt voor deze laatste winningsputtenkonfiguratie dat slechts na ongeveer 8,5 jaar (voor 3.000 m<sup>3</sup>/d) en 47 jaar (voor 2.000 m<sup>3</sup>/d) een kleine hoeveelheid Scheldewater de dichtsbijgelegen winningsput zou kunnen bereiken. Door het nemen van beperkte voorzorgsmaatregelen zou het mogelijk zijn deze intrek van Scheldewater te beletten.

Aangezien boven de aan te pompen KZ laag een slecht doorlatende laag voorkomt met een relatief grote hydraulische weerstand zullen de beschermingszones type I en type II samenvallen met het waterwingebied. Als waterwingebied neemt men rond elke winningsput een cirkel aan met als middelpunt de winningsput. De straal van de cirkel bedraagt 20 m (maximale afstand volgens het Besluit van de Vlaamse Executieve van 27 maart 1985). Voor een winningsdebiet van 2.000 m<sup>3</sup>/d en 3.000 m<sup>3</sup>/d volgens de derde puttenkonfiguratie werd de beschermingszone type III aangegeven. Hoe groter het winningsdebiet, hoe groter deze zone. De oost- en westgrens worden gevormd door stroomlijnen. De noordgrens valt samen de waterscheidingskam op ongeveer 2 km ten noorden van het waterwingebied. De zuidelijke grens kan ten zuiden van de Schelde, gelet op de beschikbare gegevens, niet nauwkeurig worden vastgelegd. De belangrijkste reden hiervoor is het feit dat de hydraulische weerstand van de Scheldebedding (slib) niet exakt gekend is.



## REFERENTIES

KONIKOW, L.F. & BREDEHOEFT, J.D. (1978). Computer model of two-dimensional solute transport and dispersion in groundwater. 90 p. U.S. Geol. Survey Techniques of Water-Resources Inv., Book 7, chap. C2.

LEBBE, L., VAN CAMP, M., RAMAN, B. & DE BREUCK, W. (1985). Hydrogeologisch mathematisch model van het Nederlands-Belgisch grensgebied in de omgeving van de Kalmthoutse Heide. 89 p. Rijksuniversiteit Gent : Leerstoel voor Toegepaste Geologie (Studie uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap).

VAN HOUTTE, E., LEBBE, L. en MAHAUDEN, M. (1990). Studie van de grondwaterwinningsmogelijkheden voor de stad Oudenaarde-eerste verslag.